NOUVELLES RECHERCHES PHYSIOLOGIQUES

SUR L'INFLUENCE DE LA

DÉPRESSION ATMOSPHÉRIQUE

SUR

L'HABITANT DES MONTAGNES

PAR

A. MERMOD

Dissertation inaugurale présentée à la Faculté de Strasbourg, pour obtenir le grade de Docteur en médecine.

LAUSANNE
IMPRIMERIE L. CORBAZ & COMP.

1877

36

Gedruckt mit Genehmigung der medicinischen Facultät der Universität Strassburg.

Referent: Prof. HOPPE-SEYLER.

NOUVELLES RECHERCHES PHYSIOLOGIQUES

SUR L'INFLUENCE DE LA

DÉPRESSION ATMOSPHÉRIQUE

SUR

L'HABITANT DES MONTAGNES

PAR

A. MERMOD

Dissertation inaugurale présentée à la Faculté de Strasbourg,
pour obtenir le grade de Docteur en médecine.

LAUSANNE

IMPRIMERIE L. CORBAZ & COMP.

1877

Gedruckt mit Genehmigung der medicinische Facultät der Universität Strassburg.

Referent: Prof. Hoppe-Seyler.

A MONSIEUR

LE PROFESSEUR D[r] HOPPE-SEYLER

Témoignage respectueux d'estime et de reconnaissance

A MONSIEUR

LE PROFESSEUR D[r] F.-A. FOREL

à Lausanne.

Son ancien élève reconnaissant.

A MON PÈRE

A MA MÈRE

A MES FRÈRES

A MES AMIS

AVANT-PROPOS

Placé dans des conditions particulièrement favorables pour l'étude si intéressante de la vie de l'homme à différentes altitudes, j'ai rassemblé pendant quatre années environ un nombre aussi grand que possible d'observations dont je présente ici les résultats comme sujet de thèse inaugurale.

Quoique je me sois toujours efforcé de rester dans des conditions extérieures comparables entr'elles, je ne me dissimule pas les objections que peut soulever la question d'exactitude des chiffres obtenus, objections que je m'adresse à moi-même le tout premier. Aussi ne peut-il être question que de résultats approximatifs, suffisant cependant pour indiquer le sens de certaines lois d'un grand intérêt.

Toutes mes recherches ont été faites dans quatre localités placées entre 140 et 1100 m. au-dessus du niveau de la mer; une élévation plus considérable serait fort à désirer, mais les circonstances ne me permettent pas pour le moment de sortir de cette limite. La hauteur de 1100 m. est, du reste, suffisante pour le but que je me suis proposé; elle rentre dans la division des *climats de montagne* de M. Jourdanet, et correspond au niveau moyen habité par l'importante population des Alpes.

Avant d'entrer en matière, j'éprouve le besoin d'exprimer toute ma reconnaissance envers M. le professeur Hoppe-Seyler

qui m'a si souvent aidé de ses bienveillants et précieux conseils, autant pour la partie technique que pour le côté théorique de ce travail. J'en ferai de même à l'égard de M. le professeur Forel, qui m'engagea à commencer cette série de recherches, et me donna pour cela d'utiles directions ; je conserverai toujours le souvenir reconnaissant de son concours si aimable.

Il est naturel d'admettre que les variations de pression atmosphérique exercent une influence sur la vie de l'homme. Nous voulons parler ici des variations de pression entre les différents niveaux au-dessus de la mer, et non pas des changements barométriques journaliers dans une seule localité ; leur influence est trop passagère et trop mélangée d'autres causes pour pouvoir être prise en considération.

L'homme a établi sa demeure à des hauteurs extrêmement variées : tandis que les lieux habités de nos Alpes correspondent à une altitude moyenne de 1500^{m} environ, nous voyons dans les autres continents des plateaux élevés de plus de 2000^{m} nourrir des millions d'êtres humains, et des villes importantes bâties au-dessus de 3000^{m}. A de pareilles élévations, où l'air est bien moins dense qu'au niveau de la mer, il va sans dire — et tout le monde est d'accord sur ce point — que l'habitant des montagnes sera placé dans des conditions nécessairement funestes, si son organisme n'est point en état de compenser par une respiration plus active l'influence de la diminution d'un gaz dans lequel il puise à chaque instant les sources essentielles de son existence. Est-il capable de réagir contre cette influence ? C'est ici que les opinions diffèrent.

On sait que tous les voyageurs en montagne ou en ballon ont accusé et décrit un ensemble de désordres qui changent

considérablement les conditions d'équilibre physiologique, et que l'on connaît sous le nom de *mal de montagne*. Nous n'avons pas à en faire ici la description, non plus que la revue des nombreuses théories qui ont été successivement émises pour expliquer ce malaise particulier. Il nous suffit de savoir que cette question si discutée du mal des montagnes, a été résolue d'une façon remarquablement nette par P. Bert. Ce physiologiste distingué en expérimentant sur des animaux soumis à différentes pressions barométriques et en faisant l'analyse des gaz de leur sang, a montré d'une façon rigoureuse que la cause essentielle du mal des montagnes est due à une *asphyxie par privation d'oxygène*[1].

Tel est le résultat dont MM. P. Bert et Jourdanet se sont servis pour l'appliquer à une circonstance plus importante au point de vue pratique, que celle des ascensions brusques en montagne ou en ballon; je veux parler de l'habitation longtemps prolongée, de l'existence habituelle et régulière à des altitudes plus ou moins grandes au-dessus du niveau de la mer. Longtemps avant que les résultats de Bert fussent connus, le Dr Jourdanet, qui a passé une longue série d'années sur les côtes et sur les hauts plateaux du Mexique, avait signalé chez l'habitant des régions élevées, un état physiologique, ou plutôt un état pathologique tout particulier, caractérisé par une *anoxyhémie* due à la moindre richesse du sang en oxygène. En d'autres termes, les symptômes subits éprouvés par le voyageur en montagne, et que M. Jourdanet appelle « anoxyhémie aiguë, » continueraient à se manifester, quoique d'une manière moins intense, chez l'habitant des hauts plateaux. Ces idées tout-à-fait nouvelles et entièrement

[1] J'aurai plus loin l'occasion de revenir sur ce fait important, et de montrer qu'il avait été publié bien des années auparavant par M. le professeur Hoppe-Seyler.

opposées à ce que l'on avait admis jusqu'à présent, furent combattues par la plupart des physiologistes. Ceux-ci, se fondant sur le fait important de la constance de l'oxygène uni chimiquement à l'hémoglobine, et non-seulement mélangé au sang, considèrent l'habitant des montagnes comme capable de compenser parfaitement la pénurie de l'oxygène ambiant par une respiration et une circulation plus actives.

J'abandonne pour le moment les théories que je n'ai fait qu'effleurer rapidement, et préfère entrer immédiatement en matière en communiquant mes travaux personnels; je décrirai pour chacun d'eux la méthode employée, mais pour tous j'insiste particulièrement sur ceci : c'est que toutes les observations ont été recueillies sur moi-même, dans différentes localités où j'étais en séjour depuis un mois et demi au moins; il s'agit donc ici de l'existence régulière, de l'habitation suffisamment prolongée à différentes altitudes. En dehors de ces *conditions fondamentales*, je considère tout résultat comme inexact en ce qui concerne la physiologie des habitants des différents niveaux. Que nous importe en effet de savoir qu'un touriste arrivé péniblement au sommet d'une montagne, ou qu'un animal enfermé subitement dans une atmosphère raréfiée, accuse une variation dans la quantité d'acide carbonique exhalé par les poumons, dans l'état du pouls et dans la température du corps? Cela ne prouve pas que les mêmes modifications se rencontrent chez l'homme qui passe toute son existence à quelques milliers de mètres au-dessus du niveau maritime.

Je n'ai nullement la prétention d'avoir résolu un problème si vaste et si compliqué. Je désire seulement y apporter quelques faits entièrement nouveaux, puisqu'ils ont été recueillis dans des conditions que personne n'a utilisées avant moi.

CHAPITRE PREMIER

Influence de la dépression barométrique constante sur le pouls.

L'accélération des battements du cœur à mesure que l'on s'élève au-dessus du niveau de la mer, est un fait connu et admis depuis longtemps; les touristes et aéronautes ont soin d'en parler dans leurs relations. Au sommet du Mont-Blanc, après 4 heures de repos, de Saussure remarqua que son pouls donnait 100 battements à la minute, celui de son domestique 112, et celui du guide 98, alors que, à Chamounix, également après le repos, les mêmes, dans le même ordre, battirent 72, 60 et 49. Dans l'ascension célèbre de Crocé-Spinelli et Sivel, le premier de ces intrépides voyageurs observa à la hauteur de 7000^m environ que son pouls battait 140, alors qu'à terre, la moyenne n'était que 80. Enfin, dans ses expériences de laboratoire, P. Bert a le plus souvent trouvé une accélération circulatoire chez les animaux soumis à une diminution de pression. Toutes ces observations, quoique très multipliées et donnant presque toujours des résultats identiques, sont faites dans des conditions trop complexes, les facteurs qui peuvent influencer la fréquence des pulsations du cœur, sont trop nombreux pour que l'on puisse avec sûreté faire la part due à la variation de la pression barométrique. Et même, en supposant que l'on ait obtenu cette part en réduisant à 0 pour un moment tous les autres facteurs, il ne serait pas encore prouvé que cette accélération du pouls observée chez le voyageur, fût réelle chez le montagnard. Parmi ces facteurs, nous signalerons dans les ascensions de montagne, la fatigue musculaire, l'excitation morale, les changements de température

et l'ensemble des troubles fonctionnels classés sous le nom de mal de montagne ; dans les ascensions en ballon, l'excitation morale qui ne peut manquer de se faire sentir dans ces voyages aventureux, et les changements considérables de température.

Des circonstances très-favorables m'ont permis d'éloigner ces causes perturbatrices et d'écarter l'objection que je viens de soulever. Ayant habité pendant le cours de mes études des villes situées à des altitudes notablement différentes les unes des autres, Ste-Croix, sur le Jura vaudois, 1100^m ; Lausanne 614^m ; Erlangen 323^m et Strasbourg 142^m, j'ai pu observer mon pouls dans des conditions aussi semblables et comparables entr'elles que possible. Opérant sur moi-même, le sujet en expérimentation ne changeait point, et j'avais en outre l'avantage de pouvoir éliminer toutes les observations anormales, dues à des causes internes ou externes.

Quelques mots d'abord sur les conditions dans lesquelles ces observations ont été recueillies et dans lesquelles je me suis toujours rigoureusement placé.

Chaque chiffre a été obtenu en comptant à une heure déterminée le nombre des pulsations par minute, en me réglant sur une bonne montre à secondes. Toute cause perturbatrice devant être éloignée aussi soigneusement que possible, en conséquence :

a) Chaque série d'observations n'a été commencée qu'après un mois et demi de séjour ;

b) Toute observation n'ayant pas été faite au moins après une heure et demie de repos, a été éliminée. La plus grande partie des observations faites aussi bien la nuit que le jour, ont eu lieu pendant que je travaillais à lire ou à écrire. Ce que j'entends par repos n'est sans doute qu'un repos relatif, mais suffisant, puisque l'essentiel est d'expérimenter dans des conditions comparables entr'elles ;

c) La position du corps ayant sur la vitesse des pulsations une influence marquée, dépendant de la quantité de force musculaire développée par le maintien de l'équilibre dans

chaque attitude, j'ai eu soin d'être chaque fois assis, appuyé contre le dossier de ma chaise;

d) Les observations dépassant le chiffre 90-95 ont été éliminées; je les considère comme résultant d'un état légèrement anormal;

e) Les repas ont eu lieu sensiblement aux mêmes heures, c'est-à-dire à 7 $^1/_2$ heures du matin, entre midi et une heure, et entre 6 et 7 heures du soir. La nourriture a été autant que possible la même, tout au moins quant à la quantité. Il va sans dire qu'il n'était pas possible de tenir compte de l'influence due à la nature de l'alimentation. Il ne m'aurait guère été facile en effet, pendant les trois années qu'ont duré ces recherches, de prendre à chaque repas un poids parfaitement déterminé d'aliments constamment les mêmes; c'est ce que personne ne sera tenté d'essayer, même pendant un temps beaucoup plus court. Je me suis donc borné à me laisser diriger par un appétit modéré et régulier. D'ailleurs si cela ne suffit pas, il me reste les observations faites à jeun, avant 7 heures du matin, et que nous pourrons comparer entr'elles dans les 4 séries;

f) Malgré toutes ces précautions, il est rare que plusieurs observations, faites au même moment, donnent des résultats identiques; une seconde observation succédant immédiatement à une première, donnera ordinairement un chiffre plus fort ou plus faible; aussi ai-je réuni généralement plusieurs chiffres à chaque heure d'observation, c'est-à-dire que j'ai observé mon pouls pendant plusieurs minutes, et que j'en ai pris la moyenne pour une minute. Ainsi chaque chiffre est lui-même la moyenne de plusieurs autres.

g) Le degré de température de l'air a été soigneusement noté chaque fois. Nous en examinerons bientôt l'importance.

En réunissant toutes ces conditions, j'ai rassemblé, réparties entre les différentes heures de la journée, 2625 observations que j'ai rendues comparables entr'elles en réunissant toutes celles qui ont été faites à la même heure, et en tirant la moyenne de cette heure pour chaque localité. Le Tableau I

indique pour chaque heure le nombre d'observations avec les chiffres de la température de l'air.

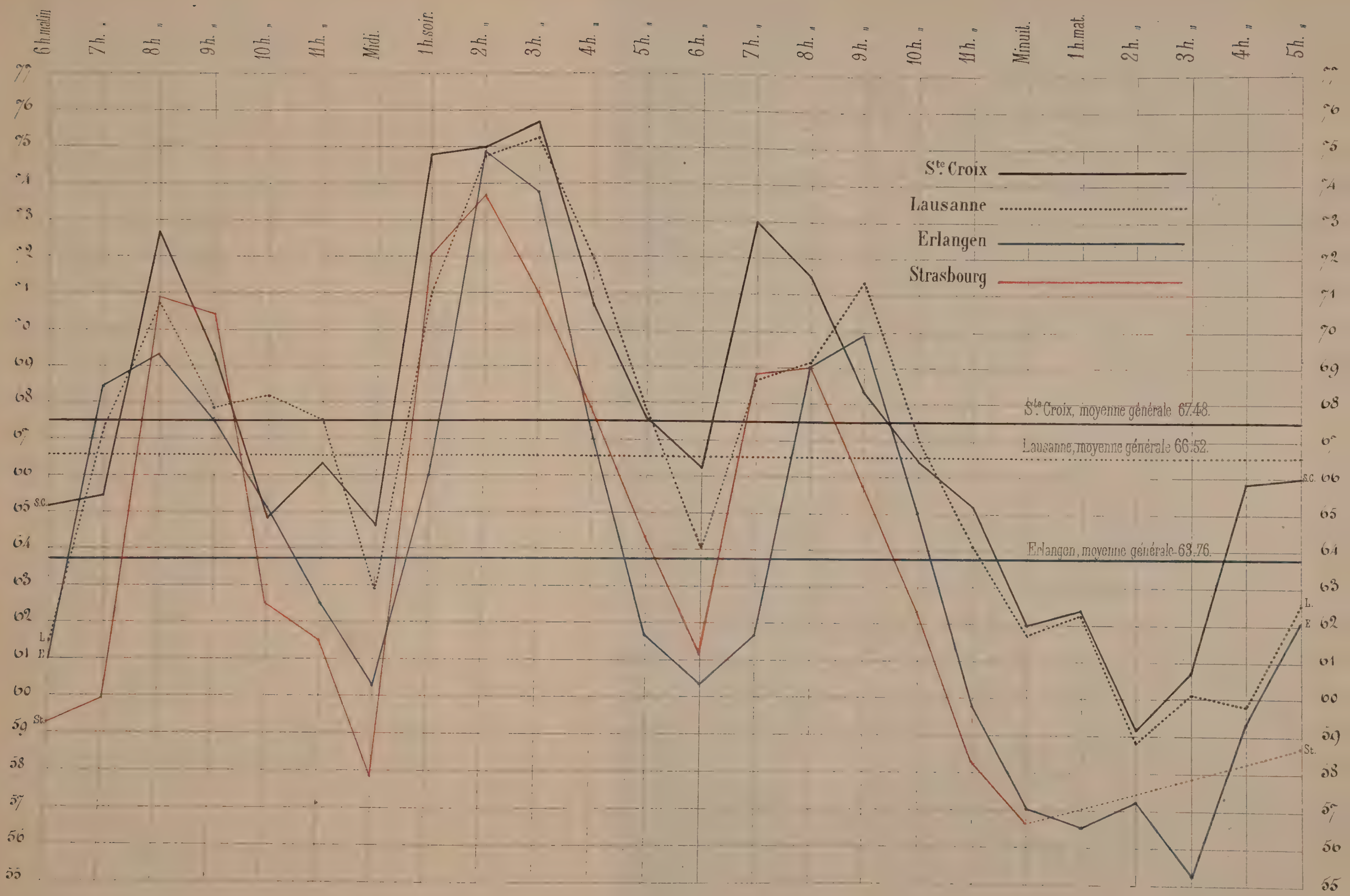
Les résultats sont plus faciles à saisir, étant représentés sous forme de courbes (graphique I). Les chiffres des pulsations sont portés sur l'axe des ordonnées, et les heures correspondantes sur celui des abscisses. Ce qui témoigne le plus en faveur de la justesse de ces courbes, c'est leur parallélisme; toutes ensemble, elles s'accordent d abord à confirmer le fait connu, que la vitesse des pulsations décrit d'importantes oscillations pendant les 24 heures : le pouls paraît atteindre le minimum d'activité vers 3 heures du matin; dans les heures qui suivent (toujours à l'état de veille), il s'accélère jusqu'au moment du déjeûner, lequel est suivi d'une nouvelle accélération jusque vers 8 heures. Il se fait un ralentissement graduel jusqu'à midi; puis survient après le repas une accélération plus prononcée que celle du matin, et qui atteint son maximum vers 3 heures de l'après-midi. Puis survient un nouvel abaissement un peu plus rapide que celui qui précède l'heure du dîner, et qui, interrompu par le dernier repas, se continue lentement dans la soirée et atteint le point le plus bas vers 3 heures du matin.

La comparaison des observations du soir avec celles du matin, amène un résultat assez intéressant pour que je le signale, quoiqu'il n'ait aucun rapport avec le sujet qui doit nous occuper plus particulièrement : la plus grande fréquence du pouls vers le soir est très généralement considérée comme réelle; s'il en est ainsi chez les malades — et tous les médecins sont d'accord là-dessus, — les chiffres du Tableau II prouvent précisément le contraire.

TABLEAU I

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Ste-Croix, 1100^{m}.			**Lausanne, 614^{m}.**			**Erlangen, 343^{m}.**			**Strasbourg, 142^{m}.**		
HEURE	Nombre d'observat.	Moyenne du pouls.	Températ. de l'air.	Nombre d'observat.	Moyenne du pouls.	Températ. de l'air.	Nombre d'observat.	Moyenne du pouls.	Températ. de l'air.	Nombre d'observat.	Moyenne du pouls.	Températ. de l'air.
6 h. m.	20	65,15	15°,76	7	61,47	19°,50	42	60,87	19°,42	12	59,23	21°,35
7 »	70	65,48	15°,84	27	67,32	16°,20	59	68,40	16°,32	17	59,90	21°,80
8 »	51	72,64	16°,07	38	70,73	17°,31	64	69,30	13°,38	8	70,87	22°,27
9 »	73	69,32	16°,05	32	67,82	17°,72	64	67,55	15°,80	10	70,45	22°,55
10 »	72	64,88	15°,75	18	68,17	19°,40	50	65,10	19°,51	8	62,48	22°,75
11 »	65	66,38	16°,32	17	67,47	19°,43	45	62,48	18°,95	13	61,46	22°,53
Midi	46	64,64	15°,98	29	62,92	18°,35	38	60,18	17°,80	19	57,73	21°,90
1 h. s.	41	74,77	16°,30	13	70,88	19°,58	31	66,03	19°,11	4	71,95	23°,70
2 »	33	75,01	15°,96	18	74,77	18°,11	33	74,81	17°,53	5	73,60	23°,57
3 »	33	75,70	16°,68	13	75,36	20°,98	49	73,82	19°,61	8	71,00	23°,68
4 »	44	70,74	16°,49	21	72,04	20°,44	45	67,31	19°,95	19	67,83	23°,71
5 »	61	67,60	16°,44	26	67,83	20°,28	58	61,58	19°,46	25	64,23	23°,54
6 »	54	63,33	15°,84	32	64,07	20°,51	60	60,26	19°,11	32	61,08	22°,90
7 »	54	73,02	15°,72	32	68,57	20°,04	58	61,61	19°,29	15	68,77	22°,92
8 »	53	71,59	16°,02	20	69,15	18°,53	38	69,01	16°‘69	17	69,03	22°,50
9 »	33	68,40	16°,34	34	71,37	18°,53	33	69,98	16°,30	13	65,80	22°,71
10 »	38	66,44	16°,67	35	67,03	19°,16	41	64,92	15°,91	25	62,24	22°,05
11 »	36	65,19	15°,39	33	64,10	19°,32	22	59,78	15°,87	27	58,38	21°,75
Minuit	19	62,07	15°,78	28	61,71	18°,99	8	57,05	17°,43	10	56,55	22°,02
1 h. m.	10	62,37	—	17	62,32	19°,14	8	56,50	20°,75	—	—	—
2 »	3	59,13	—	7	58,85	19°,43	8	57,12	20°,87	—	—	—
3 »	2	60,77	—	7	60,14	19°,50	7	55,17	19°,85	—	—	—
4 »	3	65,95	—	7	59,85	18°,72	11	59,25	18°,63	—	—	—
5 »	5	65,99	—	7	62,42	18°,20	26	61,96	19°,84	—	—	—
	919 Observat.	67,48 [1] Moyenne générale.	16°,07 pour 19 h.	518 Observat.	66,52 Moyenne générale.	19°,05 pour 24 h.	900 Observat.	63,76 Moyenne générale.	18°,26 ponr 24 h.	287 Observat.	64,82 Moy. génér. pour 19. h.	22°,64 pour 19 h.

[1] Dans le Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles, XIII, 73, j'avais publié un court mémoire : « Etude de l'influence de l'altitude sur la fréquence des battements de cœur » qui se trouve reproduit en partie dans le présent travail ; on ne s'étonnera pas de trouver quelques chiffres modifiés ; la moyenne des pulsations pour Ste-Croix qui résultait de 333 observations, se trouve diminuée ici par l'addition de 586 nouveaux chiffres, ce qui ne fait qu'affaiblir, mais ne change nullement le sens des résultats antérieurs.



Lith: Jules Chappuis, Lausanne

TABLEAU II

7 h. soir,	73,02	7 h. matin,	65,48
8 »	71,59	8 »	72,64
9 »	68,40	9 »	69,32
10 »	66,44	10 »	64,88
11 »	65,19	11 »	66,38
Minuit,	62,07	Midi,	64,64
7 h. soir,	68,57	7 h. matin,	67,32
8 »	69,15	8 »	70,73
9 »	71,37	9 »	67,82
10 »	67,03	10 »	68,17
11 »	64,10	11 »	67,47
Minuit,	61,71	Midi,	62,92
7 h. soir,	61,61	7 h. matin,	68,40
8 »	69,01	8 »	69,30
9 »	69,98	9 »	67,55
10 »	64,92	10 »	65,10
11 »	59,78	11 »	62,48
Minuit,	57,05	Midi,	60,18
7 h. soir,	68,77	7 h. matin,	59,90
8 »	69,03	8 »	70,86
9 »	65,80	9 »	70,45
10 »	62,24	10 »	62,48
11 »	58,38	11 »	61,46
Minuit,	56,55	Midi,	57,73

Moyenne générale des observations du soir = 65,48.

Moyenne générale des observations du matin = 65,98.

Différence en faveur du matin = 0,5.

Comparons, pour les 4 séries, les observations comprises entre 6 heures du matin et midi d'une part, avec celles comprises entre 6 heures du soir et minuit d'autre part. De cette

comparaison ressort non-seulement une égalité, mais bien un excès de 0,5 des observations du matin sur celles du soir. Ce fait remarquable de la diminution du nombre des pulsations vers la fin du jour, avait déjà été signalé par Knox[1] qui en recherche la cause dans la fatigue de la journée, c'est-à-dire qu'un même excitant agirait plus faiblement le soir que le matin sur l'activité cardiaque. Dans les veilles tardives, j'ai constamment observé, depuis minuit, un ralentissement excessif du pouls, que j'ai souvent vu descendre jusqu'à 40. Ceci semble n'être qu'un symptôme de fatigue générale, que fait disparaître le repos; même après une heure de sommeil, l'organisme a eu le temps de puiser de nouvelles forces, et l'activité cardiaque a déjà recouvré toute l'excitabilité qu'elle montrera le matin. Supposons qu'après une veille prolongée jusqu'à 2 heures du matin, le pouls soit descendu à 45 : je m'endors et me réveille après une heure, au bruit d'une sonnerie préparée d'avance; je consulte aussitôt mon pouls qui donne 70, 80 même. D'où peut provenir cette différence si grande, presque du double ? ce ne peut être l'effet de quelque effort musculaire, puisque je suis resté tranquillement sur mon fauteuil pendant tout ce temps; ce ne peut être uniquement l'excitation psychique, puisque ce n'est guère qu'au bout de 50 minutes environ que l'activité cardiaque est de nouveau ralentie par la persistance de la fatigue précédente. Quoique cela puisse paraître un peu paradoxal, j'ose conclure, du moins d'après ce que j'observe sur moi-même, qu'*un état de fatigue suffisamment prolongé diminue considérablement le nombre des battements cardiaques, et que le repos les augmente ensuite.*

L'influence que la température de l'air exerce sur la rapidité du pouls est assez considérable pour qu'il soit indispensable d'en tenir compte dans l'appréciation des moyennes que nous fournit le tableau I. C'est pourquoi j'ai eu soin, lors de chaque observation, de noter en même temps le degré de température extérieure, dont les moyennes, pour chaque

[1] Cité dans Milne Edwards. Leçons sur la physiologie, IV, 81. Paris, 1859.

heure, figurent dans les colonnes 4, 7, 10 et 13 du tableau I. Contrairement à ce que l'on pourrait admettre à priori, j'ai constamment trouvé une diminution du nombre des battements du cœur, avec un abaissement de température. En voici un exemple très-démonstratif. Je choisis dans la série d'Erlangen les heures contenant un nombre de chiffres suffisamment grand. Pour chacune d'elles, je divise ces chiffres en 2 groupes comprenant, l'un les observations recueillies jusqu'à 18°, l'autre les observations recueillies depuis 18°, et je tire la moyenne de chacun de ces groupes. La colonne 6 du tableau III nous donne pour chaque heure une différence constamment en faveur du second groupe, et dont la moyenne est 3,13. Les trois autres séries d'observations donnant des résultats identiques, il est évident que *l'accélération des battements du cœur augmente avec l'élévation de température.*

TABLEAU III

1	2	3	4	5	6
HEURES	Nombre des observations en dessous de 18°	MOYENNE	Nombre des observations en dessus de 18°	MOYENNE	Différence en faveur des secondes
7 h. mat.	30	68,45	21	69,02	0,57
8 »	20	65,39	26	70,32	4,93
9 »	15	64,20	22	66,25	2,05
10 »	10	60,10	21	65,07	4,97
3 h. soir	9	70,50	25	74,74	4,23
4 »	12	66,63	30	68,02	1,39
5 »	17	58,35	30	62,10	3,75
	113	64,80	175	67,93	3,13

Enfin, une dernière comparaison des chiffres du tableau I nous donne la réponse à la question que nous voulions étudier — 2625 observations nous donnent pour 4 localités des

moyennes qui augmentent constamment avec l'altitude. La moyenne de Ste-Croix (1100^{m}) est de 0,96 supérieure à celle de Lausanne; celle de Lausanne (600^{m}) est de 2,76 supérieure à celle d'Erlangen. Quant à la moyenne de Strasbourg, on ne peut la faire figurer à côté des autres puisque les observations de 1 — 5 heures du matin manquent dans cette quatrième série. En retranchant également pour les 3 autres les observations des heures correspondantes, nous obtenons :

TABLEAU IV

	1	2	3	4	5
	Altitude	Différence	Pouls moyen	Différence	Températ. moy.
Ste-Croix,	1100^{m}	468^{m}	68,71	0,62	16,07
Lausanne	614^{m}		68,09		19,05
Erlangen	343^{m}	2$_{m}$71	65,26	2,83	18,26
Strasbourg	142^{m}	201^{m}	64,90	0,36	22,64

Un simple coup d'œil jeté sur ces chiffres nous fait voir combien les différences entre les moyennes du pouls sont peu proportionnelles avec les différences entre les niveaux. Ceci ne surprend nullement, si nous faisons attention aux moyennes de la température reportées dans la 5^{e} colonne; il est bien probable que nous aurions un accroissement plus régulier dans les moyennes du pouls, si la température était la même dans chaque localité. Du reste, cette inégalité, loin d'infirmer le résultat final, ne fait que l'accentuer, puisque Ste-Croix donne le pouls moyen le plus élevé, quoique la température y soit de beaucoup la plus basse; le pouls moyen d'Erlangen surpasse encore celui de Strasbourg, bien que la température moyenne dans cette dernière station soit de 4°,38 supérieure à celle d'Erlangen.

Les conditions d'observation ayant été sensiblement les mêmes, cette différence dans la vitesse du pouls ne peut être due en grande partie qu'à la différence d'altitude et le résultat de ces expériences me semble assez précis pour pouvoir formuler ma conclusion en ces termes : *le séjour régulier et prolongé à des niveaux de plus en plus élevés, est accompagné d'une accélération du pouls.*

CHAPITRE II

Influence de la dépression atmosphérique constante sur la respiration pulmonaire et la calorification animale.

Après avoir étudié l'influence qu'exerce sur l'activité cardiaque le séjour dans une atmosphère raréfiée, je résolus de profiter de circonstances identiques pour établir par un nombre suffisant d'observations et d'expériences les moyennes de la *température du corps*, de la *fréquence des mouvements respiratoires*, de leur *amplitude*, et enfin de la *quantité d'acide carbonique exhalé* à différentes altitudes. Ces recherches comparatives ont pu s'effectuer heureusement, dans deux localités, Ste-Croix et Strasbourg, séparées l'une de l'autre par une altitude de 1000^{m} environ. Les résultats obtenus feront le sujet de ce second chapitre. On comprendra que j'aie dû rencontrer de nombreuses difficultés dans ce genre d'observations où l'influence personnelle peut devenir une si grande cause d'erreur, même chez l'observateur le plus consciencieux. Aussi ai-je tenu tout particulièrement à entreprendre ces recherches sans opinion préconçue, et en m'écartant momentanément de toute question théorique. Recueillir des faits exacts, telle est la chose essentielle ; leur interprétation est d'une importance secondaire.

Pour faciliter l'exposition et gagner en clarté, nous examinerons chaque série d'observations dans un paragraphe particulier.

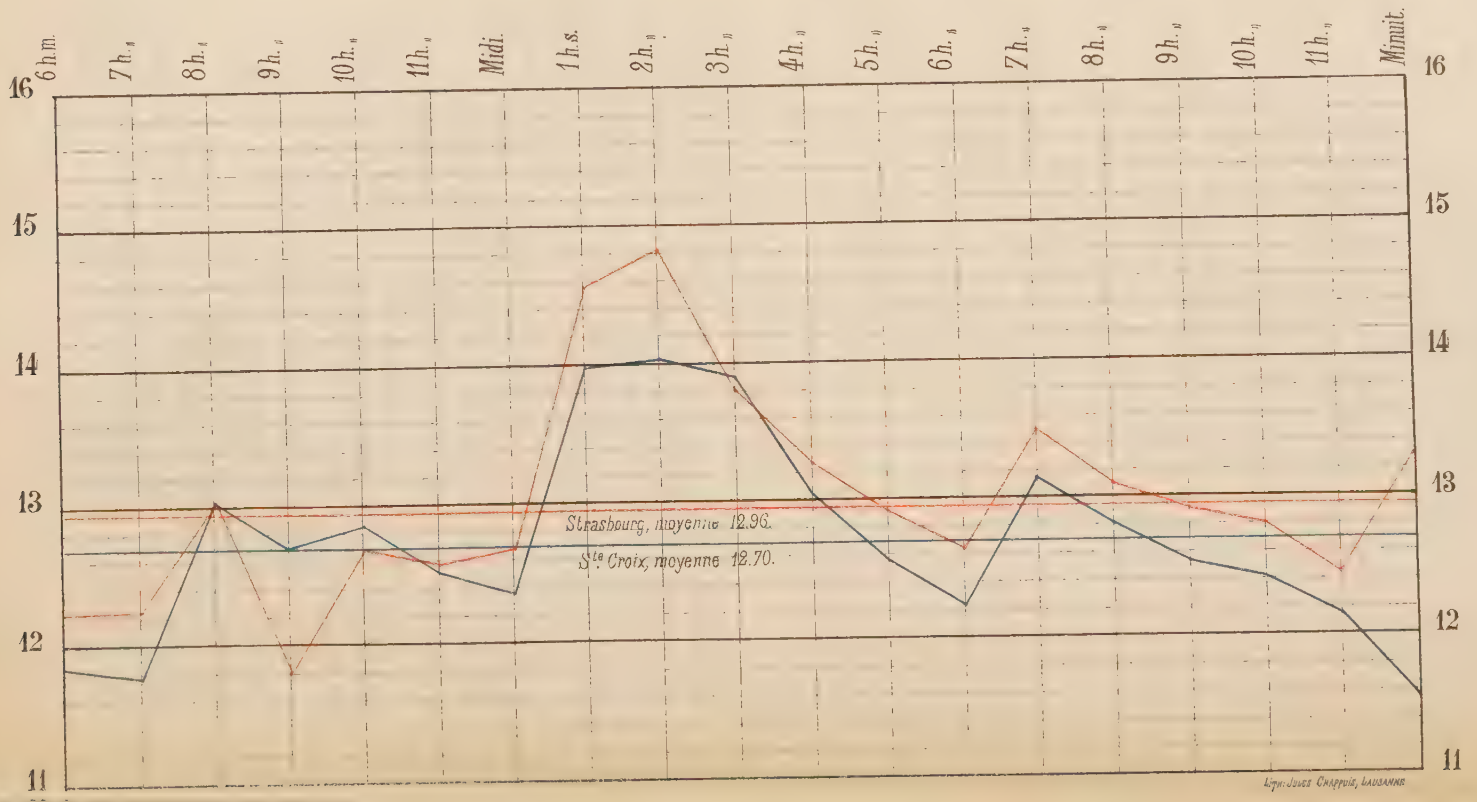
§ 1. Fréquence des mouvements respiratoires.

Chacun sait combien il est difficile de respirer normalement et régulièrement, lorsque l'attention se porte sur cet acte, et toujours on accusera chez une autre personne une différence

notable dans le nombre des mouvements respiratoires, suivant que cette personne connaît ou ignore l'examen dont elle est l'objet. Cette circonstance créa un obstacle si grand au début de mes recherches, que je crus qu'il était impossible de recueillir sur moi-même des observations suffisamment exactes. Dans la suite, je me suis convaincu que l'habitude et l'exercice souvent répété font disparaître presque complétement cet obstacle. La fréquence respiratoire reste sensiblement normale, si l'observation peut se faire avec toute la tranquillité d'esprit nécessaire et que l'on y apporte en quelque sorte de l'indifférence plutôt que du zèle; en un mot, il faut autant que possible porter son attention ailleurs. J'y suis si bien parvenu que souvent, au milieu d'une observation qui durait chaque fois 5 minutes, je me suis surpris à oublier le nombre d'inspirations et me suis vu obligé de recommencer une seconde fois. Pour plus d'exactitude, j'ai recueilli pour chaque heure deux séries d'observations de 5 minutes chacune, et en notant chaque fois l'écart entre les deux. Celui-ci s'est montré constant, quoique très-faible, et tantôt en faveur de la première, tantôt en faveur de la seconde série. Cet écart moyen, pour 5 minutes, est de 0,6 pour Strasbourg, et de 0,5 pour Sainte-Croix.

En réunissant ces conditions à celles que j'ai énumérées dans l'étude du pouls, j'ai rassemblé, réparties entre les heures de la journée, 303 observations à Ste-Croix et 287 à Strasbourg. Je les rends également comparables entr'elles en réunissant toutes celles qui ont été faites à la même heure, et en tirant la moyenne de cette heure pour chaque localité. Le tableau IV donne pour chaque heure le nombre d'observations avec la moyenne de la température de l'air.

Un premier coup d'œil jeté sur ce tableau, ou mieux sur le graphique II (heures portées sur l'axe des abscisses, fréquence respiratoire sur celui des ordonnées) nous montre pour chaque courbe des oscillations assez faibles en dessus et en dessous de la moyenne; la différence entre l'écart maximum et le minimum est à peine de 3 mouvements respiratoires. Ces


6 h.m.
7 h. „
8 h. „
9 h. „
10 h. „
11 h. „
Midi.
1 h.s.
2 h. „
3 h. „
4 h. „
5 h. „
6 h. „
7 h. „
8 h. „
9 h. „
10 h. „
11 h. „
Minuit.
16
15
14
13
12
11
Strasbourg, moyenne 12.96.
S^te Croix, moyenne 12.70.
Lith: Jules Chappuis, Lausanne

variations n'en décrivent pas moins deux courbes sensiblement parallèles entr'elles et ressemblant beaucoup à celles que nous avons tracées pour le pouls; les écarts ont lieu aux mêmes heures, et parfaitement dans le même sens : ralentissement dans l'état de jeûne, accélération après les repas.

Enfin, ce qui nous intéresse principalement, c'est de trouver une si légère différence entre la fréquence respiratoire moyenne de Ste-Croix et celle de Strasbourg; et même, au lieu de trouver une accélération semblable à celle du pouls, nous voyons au contraire que la moyenne du niveau le plus élevé est de 0,26 plus petite que celle du niveau inférieur. Il est extrêmement probable que cette irrégularité provient de la différence de la température extérieure (colonnes 4 et 7), celle de Ste-Croix étant de 5°,8 inférieure à celle de Strasbourg — et que la fréquence respiratoire moyenne serait la même aux deux altitudes, sans cette inégalité de température. Je puis heureusement fournir la preuve qu'il en est ainsi par d'autres observations semblables faites plus tard en même temps que les expériences gazométriques que je décrirai dans la suite.

TABLEAU V

	Strasbourg, 142^m^			Ste-Croix, 1100^m^		
1	2	3	4	5	6	7
HEURES	Nombre d'observations	Fréquence respiratoire moyenne en 1 minute	Température moyenne de l'air	Nombre d'observations	Fréquence respiratoire moyenne en 1 minute	Température moyenne de l'air
6 h. mat.	12	12,11	21°,3	12	11,83	15°,7
7 »	17	12,12	21°,8	35	11,77	16°,1
8 »	8	13,02	22°,3	12	13,01	17°,1
9 »	10	11,81	22°,5	16	12,70	17°,5
10 »	8	12,69	22°,7	19	12,86	16°,8
11 »	13	12,59	22°,5	20	12,53	17°,5
Midi	19	12,71	21°,9	11	12,36	17°,2
1 h. soir	4	14,56	23°,7	10	13,98	17°,3
2 »	5	14,83	23°,6	12	14,05	16°,4
3 »	8	13,81	23°,7	12	13,88	17°,7
4 »	19	13,26	23°,7	15	13,08	17°,5
5 »	25	12,94	23°,5	19	12,55	17°,2
6 »	32	12,65	22°,9	23	12,22	16°,5
7 »	15	13,51	22°,9	21	13,15	16°,4
8 »	17	13,13	22°,5	20	12,79	16°,6
9 »	13	12,96	22°,7	13	12,52	16°,1
10 »	25	12,79	22°,0	15	12,42	17°,8
11 »	27	12,45	21°,8	12	12,14	16°,0
Minuit	10	12,37	22°,0	6	11,53	16°,8
	287	12,96 moyenne générale.	22°,—	303	12,70 moyenne générale.	16°,8

Strasbourg.

7 h. matin, température extérieure = 13°,48 : — 35 observations donnent, pour 1 minute, une fréquence respiratoire moyenne de 11,20.

Sainte-Croix.

7 h. matin, température extérieure = 12°,82; 33 observations donnent pour une minute une fréquence respiratoire moyenne de 11,15.

Ces résultats me paraissent suffisamment précis pour pouvoir conclure que *le séjour régulier et prolongé à 1100m au-dessus du niveau de la mer, n'est accompagné d'aucune accélération des mouvements respiratoires.* S'il existait une accélération, elle serait en tout cas bien minime et ne constituerait qu'un moyen de compensation bien peu efficace dans l'acclimatement aux altitudes.

Cette dernière conclusion, comparée à celle que nous a fournie l'étude du pouls, nous prouve nécessairement que *la fraction moyenne* ($^1/_4$) *représentant les rapports entre la fréquence des mouvements respiratoires et les battements du cœur, devient toujours plus petite à mesure qu'on habite des stations plus élevées au-dessus du niveau de la mer.*

§ 2. **Température du corps.**

On ne possède pas de données suffisantes sur la température de l'homme en séjour sur les montagnes. Les chiffres fournis par différents auteurs ne sont que des observations isolées, prises, il est vrai, à l'état de repos, mais toujours dans le cours d'un voyage ou tout au plus pendant un court séjour sur la montagne. M. Lortet, dans ses ascensions au Mont-Blanc, a constaté une température linguale bien rapprochée de la normale. M. Marcet, se basant sur des observations de température linguale faites au repos pendant des ascensions de hautes montagnes, a formulé la conclusion suivante : « La température du corps humain à l'état de repos ne paraît pas

être habituellement moins élevée à de grandes hauteurs qu'elle ne l'est au bord de la mer. »

M. Forel[1], en discutant des observations plus méthodiques de température rectale prises le matin, au réveil, à l'état de repos musculaire et digestif, a conclu de même que le transport de l'habitat à une altitude plus élevée n'a pas d'action sensible sur la température de l'homme au repos. M. Forel demande de nouvelles expériences pour juger définitivement la question.

Je crois avoir comblé en une certaine mesure cette lacune, en comparant entre Ste-Croix et Strasbourg ma température propre. Les observations ont été faites en même temps que celles de la fréquence des mouvements respiratoires, par conséquent dans des conditions identiques et en nombre égal. Je me suis constamment servi d'un thermomètre de Geissler, divisé en dixièmes de degrés et avec index maximum en mercure. Les divisions étant suffisamment éloignées les unes des autres, il m'était facile avec une loupe de lire approximativement les centièmes de degrés.

Comme la température de la peau, même dans les régions les mieux cachées et protégées par les vêtements, est très-sujette à varier avec la température de l'air extérieur, j'ai cru devoir utiliser la seule région qui donnât une température qui est à peu près celle des organes internes et qui n'est pas influencée comme celle de la peau. Aussi chacune des observations est double : l'une a été prise dans la cavité axillaire, où le thermomètre était enfermé pendant 8 minutes, et l'autre dans le rectum, pendant 5 minutes et à la profondeur de 7 centimètres environ.

[1] F.-A. Forel. Expériences sur la température du corps humain dans l'acte de l'ascension sur les montagnes. 1871-1874.

TABLEAU VI

	Strasbourg, 142m			Ste-Croix, 1100m		
1	2	3	4	5	6	7
HEURES	Nombre d'observations	Température axillaire	Température rectale	Nombre d'observations	Température axillaire	Température rectale
6 h. mat.	12	36°,30	36°,81	12	36°,20	37°,09
7 »	17	36°,38	39°,89	35	36°,28	37°,09
8 »	8	36°,62	37°,23	12	36°,03	37°,14
9 »	10	36°,62	37°,19	16	36°,32	37°,13
10 »	8	36°,75	37°,13	19	36°,42	37°,20
11 »	13	36°,46	37°,14	20	36°,18	37°,22
Midi	19	36°,59	37°,03	11	36°,15	37°,12
1 h. soir	4	36°,65	37°,36	10	36°,19	37°,12
2 »	5	36°,89	37°,37	12	36°,46	37°,40
3 »	8	36°,70	37°,29	12	36°,48	37°,26
4 »	19	36°,72	37°,26	15	36°,57	37°,28
5 »	25	36°,66	37°,19	19	36°,44	37°,30
6 »	32	36°,73	37°,18	23	36°,48	37°,25
7 »	15	36°,64	37°,30	21	36°,31	37°,16
8 »	17	36°,72	37°,28	20	36°,29	36°,98
9 »	13	36°,71	37°,22	13	36°,14	36°,83
10 »	25	36°,61	37°,—	15	35°,98	36°,58
11 »	27	36°,31	36°,78	12	35°,87	36°,43
Minuit	10	36°,20	36°,55	6	35°,70	36°,26
	287 observat.	36°,59 moyenne générale.	37°,11 moyenne générale.	303 observat.	36°,24 moyenne générale.	37°,04 moyenne générale.

Les moyennes données dans le tableau VI (colonnes 3, 4, 6 et 7) ne font que confirmer l'opinion que l'on avait généra-

lement sur la température humaine aux altitudes. La température rectale est la même dans les deux localités, à part une différence de 0,07 qui me paraît négligeable. Quant à la différence un peu plus considérable de 0,25 entre les moyennes de la température axillaire, elle tient sans aucun doute aux différences de température de l'air (tableau V, colonnes 4 et 7). Nous avons vu que celle-ci est de 22°,6 à Strasbourg et de 16°,8 à Ste-Croix. Cette différence de 5°,8 en faveur du niveau le plus bas, nous autorise d'autant plus à conclure que *la température humaine ne paraît pas sensiblement influencée par le transport de l'habitat de 142 à 1100*^{m}.

Recherchons maintenant dans la respiration elle-même les causes qui rendent possible cette remarquable constance de la température.

§ 3. **Exhalation d'acide carbonique par les poumons.**

De tous les phénomènes relatifs à la physiologie des altitudes, le plus important à connaître est l'échange direct qui s'effectue entre l'organisme et l'atmosphère; mais on sait combien un tel problème est délicat et compliqué, comme du reste tous ceux qui touchent à la nature intime de la respiration. Il le serait moins s'il suffisait de connaître seulement la quantité d'acide carbonique exhalée par les poumons; mais on sait que son volume ne correspond pas à celui de l'oxygène inspiré, et même que le rapport entre ces deux volumes n'est pas constant. Il faudrait donc tenir compte des deux pour avoir des résultats exacts; mais comme cette double complication m'aurait présenté des obstacles matériels que je n'aurais pu surmonter, j'ai cru devoir me contenter de la détermination d'une seule de ces quantités, d'autant plus que tous les phénomènes de combustion respiratoire marchent généralement dans le même sens, et que pour la solution de la question dont il s'agit, ce sont des tendances plutôt que des mesures exactes qu'il importe de connaître.

Pendant un séjour de trois mois que je fis sur la montagne

l'année dernière, j'entrepris sur moi-même une nouvelle série de recherches, consistant à mesurer, pour un temps déterminé, la fréquence, l'amplitude respiratoires et le rendement d'acide carbonique par les poumons. Des expériences identiques ont été répétées à Strasbourg peu de temps après et les résultats intéressants auxquels je suis arrivé, feront le sujet de ce paragraphe.

On sait que chez le même individu, la quantité de CO^2 exhalé par les poumons varie considérablement suivant des facteurs nombreux. Il s'agissait donc avant tout d'éloigner ceux-ci autant que possible, ou plutôt de leur donner la même valeur dans chaque série d'observations, afin d'obtenir le degré d'influence qui appartient uniquement à la pression de l'air. Aussi je commencerai par indiquer les principales conditions qui ont présidé à ces recherches :

a) Toutes les expériences ont été faites à jeun entre 7 et 8 heures du matin, environ une demi-heure après le lever. J'ai choisi intentionnellement ce moment de la journée afin de réduire à son minimum l'influence due à la *nature de l'alimentation ;* j'ai déjà eu l'occasion d'en parler à propos de recherches antérieures. Ici encore on conviendra facilement qu'il n'est pas possible de régler son alimentation par une nourriture chaque jour la même en quantité et en qualité et cela pendant près de 5 mois. Je me suis donc borné à me laisser guider par un appétit qui a peu varié, grâce à une santé toujours excellente et à un genre de vie régulier. Ce n'est qu'au repas du soir que je me suis plus particulièrement rationné; du reste ce repas ayant eu lieu à 7 heures, l'observation du lendemain ne se faisait donc que 12 heures plus tard, alors que la digestion était terminée depuis longtemps.

b) La première série ayant été faite sur la montagne pendant l'automne, la seconde dans la plaine pendant un hiver remarquablement doux, il se trouve que la *température moyenne* de l'air est sensiblement la même pour les deux localités, ce qui est une circonstance très-heureuse.

c) Chaque série d'expériences n'a été commencée qu'après un séjour d'un mois et demi au moins dans chaque localité.

d) La méthode d'expérimentation employée a été constamment la même.

e) Enfin je ferai remarquer que pendant tout le temps qu'ont duré ces recherches, je n'ai pu être influencé par aucune opinion préconçue, puisque les résultats obtenus sont bien loin d'être ceux auxquels j'aurais pu m'attendre. On pourra en juger plus loin.

L'appareil que j'ai fait construire est semblable à celui qu'a employé C. Speck [1], sauf quelques modifications. La planche en fera facilement comprendre le mécanisme.

B est un cylindre de tôle rempli d'eau salée dont le niveau constant est déterminé par l'ajutage *t*. Le fond du réservoir laisse passer un tube *m* qui se continue inférieurement par le tuyau de caoutchouc *o* par lequel arrive l'air expiré. L'extrémité libre du tube *m* s'ouvre directement sous le couvercle de la cloche A lorsqu'elle est complétement abaissée. Cette cloche construite en cuivre et d'une contenance exacte de 48,000 CC, est maintenue en état d'équilibre indifférent par un sac C rempli de plomb. Ce sac, qui descend pendant l'ascension de la cloche, reçoit les unes après les autres des balles de plomb posées sur de petits plateaux de bois qu'il fait basculer en passant au devant d'eux. Par cette simple disposition, la cloche A ne peut augmenter de poids en sortant de l'eau salée dans laquelle elle plongeait complétement au début de l'expérience. Les deux fils conducteurs *defg* fortement tendus empêchent le sac d'osciller. Le réservoir B et la cloche A recouverts de vernis au minium, sont entourés d'une cage en barres de fer *kl*, empêchant la cloche de dévier à droite ou à gauche. Le niveau de celle-ci est indiqué par deux index *v v'* facilement mobiles le long des règles *ii*, graduées en décilitres. L'embouchure *y* faite en cuivre doublé de caoutchouc, s'adapte hermétiquement sur la bouche et communique avec

[1] Schriften der Gesellschaft zur Befœrderung der gesammten Naturwissenschaften zu Marburg. X, 1871.

TABLEAU VII

Observations faites à Strasbourg. Altitude 142m

1 Numéro d'observation	2 Température de l'air extérieur	3 Pression barométrique	4 Pouls avant l'expérience	5 Pouls après l'expérience	6 Pouls. Moyenne	7 Nombre des mouvements respiratoires en dehors du spiromètre	8 Nombre des mouvements respiratoires dans le spiromètre	9 Durée de l'expérience	10 Volume du gaz expiré en CC	11 Volume réduit à 0 degré et 760mm	12 Poids total en grammes de l'acide carbonique expiré	13 Poids de CO² inspiré, à soustraire du poids précéd.	14 Poids définitif de CO² expiré en 7 minutes	15 Poids de CO² exprimé par minute	16 Poids de CO² pour une seule expiration
		mm.									gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
1	13°,20	742,6	62 —	64 —	63 —	78 = 11,142	74 = 10,571	7 min.	CC 43200	CC 40263,1	2,92910	0,12000	2,80910	0,40130	0,03795
2	13°,40	745,7	56,5	60 —	58,25	75,5 = 10,785	74 = 10,571	7 »	» 40150	» 37550,4	2,67020	0,14219	2,52801	0,36114	0,03416
3	13°,40	743,7	64 —	63,5	63,75	78 = 11,142	79 = 11,285	7 »	» 42800	» 39921,0	2,64560	0,13690	2,50870	0,35838	0,03175
4	13°,50	740,4	61,5	59 —	60,25	80 = 11,428	79 = 11,285	7 »	» 41900	» 38894,9	2,80960	0,15670	2,65290	0,37898	0,03358
5	13°,70	726,6	61 —	60,5	60,75	81,5 = 11,642	80 = 11,428	7 »	» 39500	» 35948,6	2,53370	0,09861	2,43509	0,34787	0,03043
6	13°,80	735,4	57,5	59 —	58,25	80,5 = 11,500	81,50 = 11,642	7 »	» 44000	» 40526,1	2,77100	0,13380	2,63720	0,37674	0,03235
7	13°,80	732,7	64 —	58 —	61 —	77 = 11 —	78 = 11,142	7 »	» 42000	» 38542,0	2,62100	0,11150	2,51000	0,35857	0,03217
8	15°,40	736,5	62 —	60 —	61 —	78,5 = 11,214	78,5 = 11,214	7 »	» 41000	» 37609,5	2,51220	0,11600	2,39620	0,34231	0,03052
9	15°,60	745,9	64 —	62 —	63 —	78 = 11,142	80 = 11,428	7 »	» 40600	» 37691,7	2,60810	0,13010	2,47800	0,35400	0,03097
10	13°,30	748,9	68 —	60 —	64 —	78 = 11,142	78 = 11,142	7 »	» 43200	» 40590,5	2,80330	0,12900	2,67430	0,38204	0,03428
11	13°,20	748,	62 —	60 —	61 —	75 = 10,714	76,5 = 10,928	7 »	» 39300	» 36894,6	2,60260	0,08830	2,51430	0,35918	0,03286
12	14°,—	745,7	59 —	59 —	59 —	78 = 11,142	78 = 11,142	7 »	» 39600	» 36958,5	2,55650	0,10430	2,45220	0,35031	0,03143
13	12°,30	738,5	60 —	56 —	58 —	76 = 10,857	76 = 10,857	7 »	» 41200	» 38307,6	2,72500	0,12210	2,60290	0,37184	0,03424
14	12°,60	732,4	59 —	56 —	57,50	77 = 11 —	77 = 11 —	7 »	» 42100	» 38780,2	2,69340	0,10610	2.58730	0,36961	0,03360
15	14°,—	749,5	62 —	62 —	62 —	79 = 11,285	79 = 11,285	7 »	» 40500	» 37991,1	2,68862	0,11890	2,56972	0,36710	0,03252
16	13°,90	750,8	56 —	56 —	56 —	78 = 11,142	79 = 11,285	7 »	» 39900	» 37506,3	2,62570	0,12035	2,50540	0,35791	0,03172
17	13°,40	750,8	62 —	63 —	62,50	80 = 11,428	81 = 11,520	7 »	» 40450	» 38093,1	2,69561	0,11619	2,57942	0,36848	0,03184
18	12°,60	745,5	60 —	62 —	61 —	79 = 11,285	79 = 11,285	7 »	» 40150	» 37645,5	2,63882	0,10709	2,53182	0,36168	0,03204
19	13°,30	763,	59 —	59 —	59 —	80 = 11,428	79 = 11,285	7 »	» 41300	» 39536,9	2,79000	0,11950	2,68005	0,38292	0,03393
20	14°,20	752.6	62 —	60 —	61 —	78 = 11,142	78 = 11,142	7 »	» 42600	» 40098,4	2,90981	0,13635	2,77346	0,39620	0,03555
21	13°,80	748,3	60 —	60 —	60 —	78 = 11,142	78 = 11,142	7 »	» 40200	» 37679,2	2,65221	0,10258	2,54963	0,36423	0,03268
22	13°,10	752.4	61 —	60 —	60,50	80 = 11,428	78 = 11,142	7 »	» 41400	» 39111,0	2,74128	0,11555	2,62573	0,37510	0,03494
23	12°,60	737,0	57 —	56 —	56,50	80 = 11,428	79 = 11,285	7 »	» 39700	» 36801,7	2,57300	0,08553	2,48747	0,35535	0,03148
24	12°,—	734,0	60 —	58 —	59 —	79 = 11,285	79 = 11,285	7 »	» 40600	» 37560,2	2,96680	0,08664	2,88016	0,41145	0,03645
25	10°,90	748,5	58 —	58 —	58 —	80 = 11,428	80 = 11,428	7 »	» 41900	» 39680,8	6,86542	0,07909	2,78633	0,39804	0,03482
26	9°,50	760,9	60 —	58 —	59 —	80,5 = 11,500	79 = 11,285	7 »	» 39900	» 38603,1	2,82491	0,07123	2,75368	0,39338	0,03612
27	10°,—	756,2	56 —	56 —	56 —	77 = 11 —	77 = 11 —	7 »	» 41600	» 39928,6	2,83102	0,09559	2,73543	0,39077	0,03552
28	10°,80	750,2	58 —	58 —	58 —	78 = 11,142	77 = 11 —	7 »	» 42300	» 40164,7	2,87167	0,09981	2,77185	0,39593	0,03599
29	12°,60	741,1	58 —	59 —	58,50	77 = 11 —	74 = 10,570	7 »	» 39700	» 37006,0	2,82069	0,09286	2,72783	0,38969	0,03686
30	11°,20	736,0	56 —	59 —	57,50	77 = 11 —	77 = 11 —	7 »	» 41200	» 38325,7	2,76268	0,09129	2,67139	0,38162	0,03469
31	10°,50	745,5	53 —	55 —	54 —	78 = 11,142	75 = 10,710	7 »	» 40300	» 38067,6	2,82311	0,08930	2,73380	0,39054	0,03645
32	9°,60	749,4	58 —	58 —	58 —	80 = 11,428	80 = 11,428	7 »	» 40100	» 38196,5	2,67230	0,08310	2,58920	0,36988	0,03236
33	9°,60	751,7	56 —	56 —	56 —	80 = 11,428	80 = 11,428	7 »	» 40800	» 38981,4	2,94978	0,06069	2,88909	0,41272	0,03613
34	11°,20	747,2	56 —	58 —	57 —	77 = 11 —	77 = 11 —	7 »	» 40200	» 37969,8	2,85646	0,09800	2,75846	0,39406	0,03582
35	12°,90	747,8	57 —	58 —	57,50	78 = 11,142	78 = 11,142	7 »	» 38100	» 35807,8	2,63093	0,13057	2,50036	0,35719	0,03205
Moyennes	12°,65	744,89	59,58	59,02	59,30	78,41 = 11,20	78,07 = 11,15	7 min.	CC 40955,7	CC 38362,8	2,73347	0,10844	2,62517	0,37503	0,03362
											5,734 volume p. 100	0,227 volume p. 100	5,507 volume p. 100		

Moyenne = 5,507 volume d'acide carbonique p. 100 volume d'air expiré.

TABLEAU VIII

Observations faites à Sainte-Croix. Altitude 1100^m

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Numéro d'observation	Température de l'air extérieur	Pression barométrique	Pouls avant l'expérience	Pouls après l'expérience	Pouls. Moyenne	Nombre des mouvements respiratoires en dehors du spiromètre	Nombre des mouvements respiratoires dans le spiromètre	Durée de l'expérience	Volume de gaz expiré en CC	Volume réduit à 0° et 760mm	Poids total en grammes de CO^2 expiré	Poids de CO^2 inspiré, à soustraire du poids précéd.	Poids définitif de CO^2 pour 7 minutes	Poids pour une minute	Poids pour une seule expiration
		mm.									gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
1	13°,4	674,7	60	60	69 —	82 = 11,714	82 = 11,714	7 min.	CC 44000	CC 37233,2	3,00166	0,05311	2,94855	0,42122	0,03595
2	13°,5	672,5	59	59	59 —	79 = 11,285	81 = 11,571	7 »	» 43650	» 36803,5	2,68730	0,06090	2,62640	0,37520	0,03242
3	15°,5	668,4	57	58	57,5	80 = 11,428	80,5 = 11,500	7 »	» 44500	» 37032,8	2,90010	0,06732	2,83278	0,40468	0,03518
4	15°,9	669,1	58	58	58 —	77 = 11 —	75 = 10,710	7 »	» 46500	» 38684,0	3,04652	0,08060	2,96572	0,42370	0,03953
5	15°,3	665,6	65	65	65 —	80 = 11,428	80 = 11,428	7 »	» 43800	» 36368,0	2,77340	0,07319	2,70021	0,38574	0,03375
6	14°,5	673,1	61	60	61,5	80 = 11,426	80 = 11,428	7 »	» 43700	» 36750,2	2,81760	0,07680	2,74082	0,39154	0,03326
7	14°,9	664,2	62	61	62 —	79 = 11,285	78,3 = 11,185	7 »	» 45500	» 37705,4	3,06610	0,07326	2,99284	0,42754	0,03822
8	15°,9	667,4	65	62	63 —	76 = 10,857	77 = 11 —	7 »	» 45500	» 37755,9	3,04126	0,07640	2,96486	0,42355	0,03837
9	12°,9	671,8	57	57	57 —	80 = 11,428	81 = 11,571	7 »	» 44250	» 37348,8	2,87146	0,08500	2,78646	0,39806	0,03440
10	13°,4	667,8	63	64	63,5	81 = 11,571	82,4 = 11,771	7 »	» 43700	» 36601,0	2,85390	0,07103	2,78187	0,39740	0,03376
11	16°,0	669,9	68	65	66,5	80 = 11,428	83 = 11,857	7 »	» 43850	» 36510,5	2,77250	0,06320	2,70930	0,38704	0,03264
12	15°,8	666,3	66	63	64,5	79,5 = 11,357	79,8 = 11,357	7 »	» 46150	» 38245,4	2,98201	0,08539	2,89662	0,41380	0,03643
13	15°,9	668,8	73	69	71 —	82,2 = 11,750	83 = 11,857	7 »	» 46800	» 38916,1	2,93337	0,04696	2,88639	0,41234	0,03478
14	14°,2	672,1	62	62	62 —	82,3 = 11,757	82,5 = 11,785	7 »	» 41500	» 34884,7	2,91028	0,08000	2,83028	0,40432	0,03430
15	14°,2	671,8	67	62	64,5	83 = 11,857	84 = 12 —	7 »	» 46600	» 39154,2	3,10140	0,09000	3,01140	0,43020	0,03585
16	15°,9	672,7	58	62	60 —	79 = 11,285	80 = 11,428	7 »	» 41550	» 34752,0	2,67800	0,08700	2,59090	0,37013	0,03237
17	15°,3	672,5	63	63	63 —	78 = 11,142	78 = 11,142	7 »	» 42150	» 35360,0	2,85670	0,07900	2,77770	0,39682	0,03561
18	12°,3	662,4	65	66	65,5	78,6 = 11,228	77,2 = 11,028	7 »	» 43500	» 36278,2	2,84090	0,06002	2,78088	0,39727	0,03602
19	11°,2	663,9	66	63	64,5	77 = 11 —	78 = 11,142	7 »	» 43200	» 36249,4	2,86800	0,05979	2,80821	0,40117	0,03600
20	16°,0	669,1	67	65	66 —	77 = 11 —	76 = 10,811	7 »	» 46500	» 38670,7	3,22300	0,08510	3,13780	0,44825	0,04128
21	11°,0	663,6	64	62	63 —	77 = 11 —	77 = 11 —	7 »	» 43250	» 36287,9	2,85017	0,05390	2,79627	0,39946	0,03631
22	11°,10	669,0	62	63	62,50	77 = 11 —	76,50 = 10,928	7 »	» 44700	» 37796,9	2,88580	0,06432	2,82147	0,40306	0,03688
23	10°,30	671,0	66	66	66 —	76 = 11,811	76 = 10,811	7 »	» 45100	» 38370,0	3,00174	0,04851	2,95323	0,42189	0,03885
24	10°,10	670,8	64	65	64,50	75 = 10,710	75,50 = 10,785	7 »	» 44700	» 37918,4	2,98240	0,05580	2,93660	0,41808	0,03876
25	9°,50	669,5	68	67	67,50	78 = 11,142	78 = 11,142	7 »	» 41250	» 35115,3	2,69250	0,04774	2,64476	0,37782	0,03390
26	9°,55	668,2	67	67	67 —	77 = 11 —	75 = 10,710	7 »	» 41400	» 35168,4	2,67275	0,05684	2,61591	0,37370	0,03487
27	9°,40	668,4	67	63	65 —	76 = 10,857	78 = 11,142	7 »	» 42900	» 36472,8	3,01934	0,06280	2,95654	0,42236	0,03790
28	9°,50	669,8	60	60	60 —	77 = 11 —	76,30 = 10,900	7 »	» 42300	» 36025,3	2,77261	0,05231	2,72030	0,38861	0,03565
29	9°,90	668,0	62	64	63 —	76,50 = 10,928	77 = 11 —	7 »	» 42800	» 36300,8	2,80586	0,04759	2,75827	0,39403	0,03582
30	9°,30	666,9	59	64	60 —	79,40 = 11,328	77 = 11 —	7 »	» 42700	» 36234,2	2,77790	0,04068	2,73722	0,39103	0,03554
31	9°,—	671,7	69	61	65 —	77 = 11 —	77 = 11 —	7 »	» 42700	» 36519,9	2,73891	0,04020	2,69871	0,38553	0,03504
32	8°,75	673,9	66	66	63 —	78 = 11,142	76 = 10,811	7 »	» 43900	» 37715,8	2,81220	0,05977	2,75243	0,39320	0,03621
Moyennes	12°,68	669,21	63,72	63	63,36	78 = 11,14	78,69 = 11,24	7 min.	CC 43893,75	CC 36917,4	2,88156	0,06522	2,81624	0,40231	0,03576
											6,24 p. 100 volumes	0,141 p. 100 volumes	6,098 p. 100 volumes		

Moyenne = 6,098 volumes d'acide carbonique pour 100 volumes d'air expiré.

un système de soupapes à boyau pp' fonctionnant avec la plus grande facilité. Le diamètre interne des tuyaux m o et des tubes à soupape n'est nulle part inférieur à 23 millimètres, ce qui est le diamètre moyen de la trachée. Grâce à cette disposition, ainsi qu'à une mobilité suffisante de la cloche, il est facile de respirer à travers ce gazomètre aussi longtemps qu'on le veut, sans en éprouver la plus légère fatigue.

Il va sans dire que la respiration ne doit s'effectuer qu'à travers la bouche; on pourrait fermer l'ouverture postérieure des fosses nasales simplement en relevant le palais mobile, mais pour ne pas troubler le rhythme respiratoire, il m'a paru plus sûr et plus commode de fermer depuis l'extérieur la communication nasale au moyen d'une pince à ressort, à branches doublées de caoutchouc.

La cloche une fois remplie d'air expiré, dont je lis le volume sur les règles graduées, il s'agit maintenant de recueillir le gaz pour le soumettre à l'analyse. Je me suis servi dans ce but d'une bouteille I à volume exactement connu, et qui communique avec la cloche au moyen d'un tuyau de caoutchouc $S'S$ lequel se continue par un tube de verre $S'S''$ plongeant jusqu'au fond de la bouteille. Un poids a' étant déposé sur la cloche, celle-ci descend lentement, à mesure que le gaz expiré s'échappe par la bouteille : l'air d'abord contenu dans celle-ci est chassé et remplacé complétement par celui de la cloche ; du moins on peut admettre qu'il en est ainsi, lorsque cette dernière a fini de descendre et que les 40 ou 48 litres de gaz qu'elle contenait ont traversé la bouteille. Celle-ci étant donc remplie d'air expiré, qui est à la même température et à la même pression que celui qui se trouvait dans la cloche [1], j'interromps brusquement la communication SS' et commence immédiatement le dosage de l'acide carbonique.

[1] La pression doit être nécessairement la même en A et en C, puisque les deux réservoirs sont en communication. Quant à la température, de nombreuses mensurations n'ont jamais montré entre la cloche et la bouteille qu'une légère fraction de degré, que j'ai constamment négligée dans les calculs.

Je me suis servi pour ce dosage de la méthode de Pettenkofer. Elle est simple, très-exacte, et consiste en ce que l'on fait agir une quantité connue de baryte en solution sur un volume déterminé de gaz, jusqu'à ce que l'CO^2 contenu dans ce gaz soit complétement fixé par la baryte. La force de la solution de baryte est déterminée d'avance au moyen d'une solution d'acide oxalique d'une concentration telle, qu'un centimètre cube de cette solution corresponde à un milligramme d'acide carbonique de la solution de baryte. On obtient cette concentration en dissolvant 2,8636 grammes d'acide oxalique cristallisé et chimiquement pur, dans un litre d'eau distillée.

Je remarquerai déjà maintenant que, pour obtenir le poids réel de l'acide carbonique expiré, il est nécessaire d'en soustraire la quantité parvenue dans les poumons avec l'air inspiré : en d'autres termes, il faut dans chacune des expériences connaître la proportion d'acide carbonique contenu dans l'air de la chambre et le soustraire du poids d'acide carbonique trouvé dans la cloche.

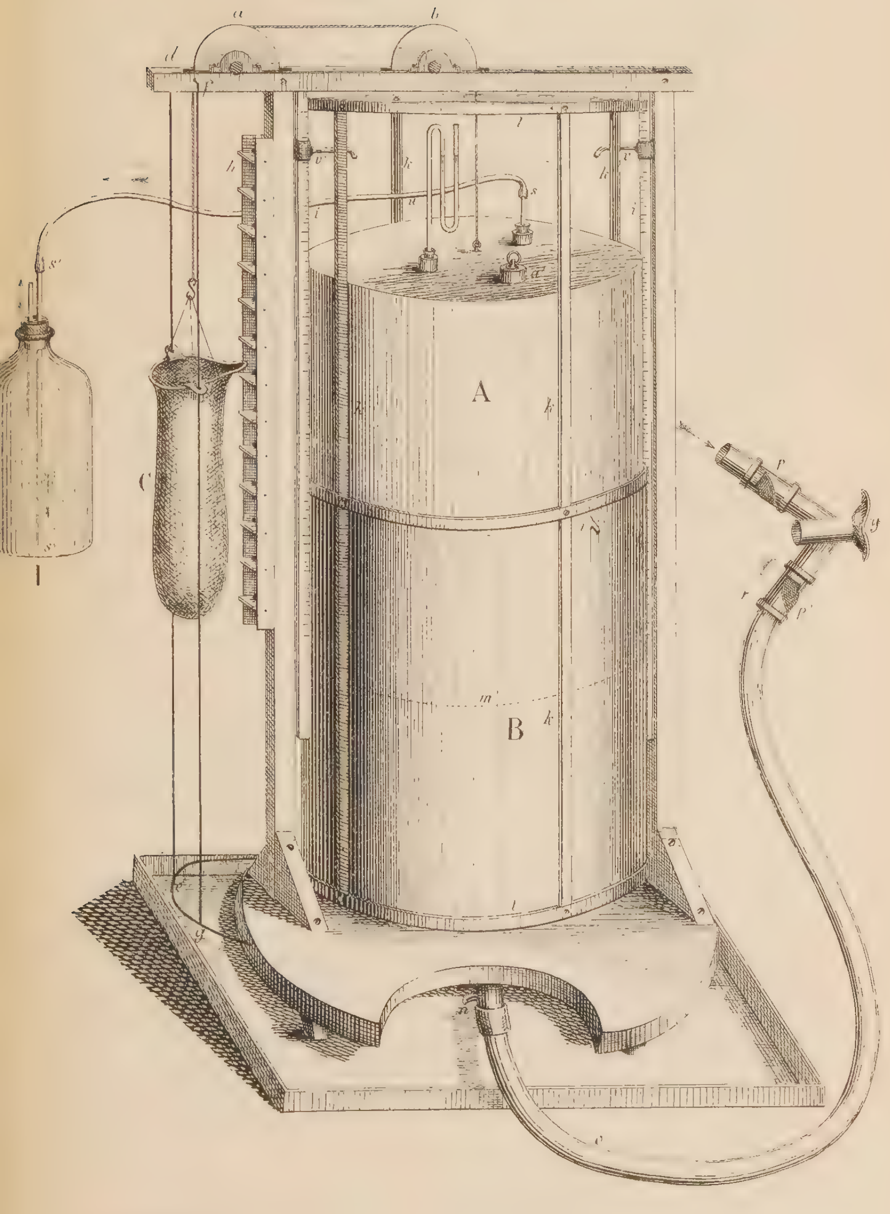
A l'exemple de Berg[1] auquel j'emprunte la marche de la méthode, je me suis servi de deux solutions de baryte, une *forte* pour le dosage de l'acide carbonique expiré, et une *faible* pour le dosage de l'acide carbonique inspiré. La solution forte est préparée en dissolvant à peu près 21 grammes de baryte caustique (ne contenant pas de soude ou de potasse) dans un litre d'eau distillée chaude.

De cette solution, 15 CC sont saturés par 45 CC de solution acide; c'est donc un rapport de 1 à 3, c'est-à-dire qu'un CC exprime 3 millig. de CO^2.

La solution faible contient environ 7 gr. de baryte pour 1 litre d'eau distillée. De cette solution, 1 CC exprime environ 1 millig. de CO^2.

Veut-on connaître la quantité d'CO^2 fixé par une solution de baryte, il faut neutraliser la baryte encore libre avec la solution d'acide oxalique. La différence entre le nombre de CC

[1] Dr Eug. Berg Ueber den Einfluss der Zahl und Tiefe der Athembewegungen auf die Ausscheidung der Kohlensæure durch die Lungen.



Lith: J. Chappuis, Lausanne

de cette solution qu'il faut maintenant et celui qui était nécessaire auparavant, exprime immédiatement la quantité d'acide carbonique fixée par la baryte. Il est facile de connaître le moment précis où la neutralisation a lieu, lorsqu'une goutte portée sur un morceau de papier de curcuma cesse tout à coup d'être entourée par le cercle brun caractéristique [2].

Tout étant convenablement disposé pour une expérience, et ayant supprimé tout vêtement qui aurait pu entraver le libre jeu de la respiration, je me plaçais commodément sur une chaise vis-à-vis du gazomètre, et comptais d'abord pendant 7 m. le nombre des mouvements respiratoires exécutés à l'air libre, ce qui m'était facile de faire normalement après les 600 observations recueillies antérieurement. Immédiatement après j'appliquais l'embouchure du gazomètre, et respirais également pendant 7 m., en comptant le nombre des mouvements respiratoires. La comparaison des chiffres prouvera suffisamment que la respiration s'effectuait normalement dans l'appareil, puisqu'elle ne différait presque pas de la respiration à l'air libre. Le pouls était observé au commencement et à la fin de chaque expérience.

La bouteille I étant remplie d'air de la cloche, j'y introduisais par le tube SS″, au moyen d'une pipette, 100 CC de la solution forte, et fermais hermétiquement. Pour déterminer la quantité d'CO^2 de l'air de la chambre, je me servais de deux autres bouteilles II et III, chacune de la contenance de 3 litres environ ; je les remplissais avec l'air de la chambre au moyen de deux poires en caoutchouc reliées entr'elles,

[2] Un fait qui me semble ignoré, c'est la grande différence de sensibilité que peuvent présenter les papiers de curcuma, suivant leur mode de préparation : un tel papier, par exemple, ne sera plus coloré en brun à un moment donné, tandis qu'un autre donnera encore une réaction alcaline manifeste. On comprend l'importance qu'il y a dans deux séries de recherches essentiellement comparatives, à se servir toujours du même papier de curcuma. Aussi ai-je laissé de côté plusieurs de ces papiers préparés à Strasbourg, voyant qu'ils possédaient chacun une sensibilité différente, et ai-je dû faire venir de Suisse du même papier dont je m'étais servi au commencement.

comme celles dont on se sert en chirurgie pour pulvériser les liquides, et versais ensuite dans chaque bouteille par un tube de verre descendant jusqu'au fond, 40 CC de la solution faible de baryte; les deux bouteilles étaient ensuite fermées hermétiquement avec des bouchons de caoutchouc. Pour être sûr que tout l'acide carbonique des trois bouteilles était fixé par la baryte, je ne faisais jamais le dosage qu'après les avoir agitées de temps en temps, pendant 3 heures au moins. Au bout de ce temps, j'ouvrais les n^{os} II et III et versais directement dans la pipette 30 CC de la solution trouble, que je dosais immédiatement dans un verre à pied étroit et profond, juste assez volumineux pour pouvoir contenir les solutions alcaline et acide. Quant au liquide n° I, je ne le soumettais au dosage qu'après l'avoir filtré dans un entonnoir recouvert d'une plaque de verre. Pendant le cours de ces manipulations, il fallait prendre garde de ne pas respirer contre les solutions alcalines qui se seraient assez carbonatées pour causer une erreur considérable dans les résultats.

Il va sans dire que le volume de gaz expiré dans la cloche, ainsi que celui des 3 bouteilles, doivent être réduits à 0° et à 760^{mm}. La formule de réduction est

$$V = \frac{V \times B}{(1 + T \times 0{,}003665)\ 760}$$

V exprimant le volume non réduit, T la température de la chambre, B la pression barométrique et 0,003665 le coefficient de dilatation de l'air. La température était fournie par un instrument très-sensible, à degrés divisés en cinquièmes; la pression barométrique, par les stations météorologiques des deux localités.

Je termine cet exposé en donnant un exemple :

Strasbourg, 4 mars, 7 heures du matin.

Air expiré, volume non réduit = 42300 CC en 7 m.
Fréquence respiratoire à l'air libre = 78.
Fréquence respiratoire dans l'appareil = 77.
Pouls avant l'expérience = 58; après l'expérience = 58.

Température = 10°, 80 C.

1° Volume de l'air expiré, réduction d'après la formule

$$\frac{42300 \times 750,2}{(1 + 10,8 \times 0,003665)\ 760} = 40164,7 \text{ CC}$$

2° Volume de l'air dans la bouteille I, réduction :

$$\frac{2404 \times 750,2}{(1 + 10,8 \times 0,003665)\ 760} = 2282,6 \text{ CC}$$

3° Volume de l'air dans la bouteille II, réduction :

$$\frac{3814 \times 750,2}{(1 + 10,8 \times 0,003665)\ 760} = 3621,4 \text{ CC}$$

4° Volume de l'air expiré dans la bouteille III, réduction :

$$\frac{2684 \times 750,2}{(1 + 10,8 \times 0,003665)\ 760} = 2548,5 \text{ CC}$$

Dosages de l'acide carbonique.

1° *Bouteille II.*

40 CC de la solution faible sont neutralisés par 36,8 CC de solution acide.

Au bout de 3 heures, 30 CC de la solution de baryte sont déjà neutralisés par 21,3 CC de solution acide; p. consq.

30 CC de solution de baryte ont fixé 6 millig. 3 de CO^2
et 40 . . . . 8 millig 4 de CO^2

2° *Bouteille III.*

40 CC de la solution faible sont neutralisés par 36,8 CC de solution acide.

Au bout de 3 heures 30 CC de solution de baryte sont déjà neutralisés par 22,4 CC de solution acide ; p. consq.

30 CC de solution de baryte ont fixé 5 millig. 2 de CO^2
et 40 . . . . 6 millig. 9 de CO^2

enfin 3621,4 CC d'air de la bouteille II contenant 8 mil. 4 de CO^2
et 2548,5 CC » » III » 6 mil. 9 de CO^2
6169,9 CC d'air des bout. II et III contiend. 15 mil. 3 de CO^2
et 40164,7 CC d'air expiré dans la cloche contiendront 0,09975 de CO^2.

3° *Bouteille I et cloche.*

100 CC de la solution forte sont neutralisés par 280,8 CC de solution acide.

Au bout de 3 heures, 50 CC sont déjà neutralisés par 58,8 CC de solution acide; p. consq.

50 CC de solution de baryte ont fixé 81 millig. 6 de CO^2
et 100 CC » » » 163 millig. 2 de CO^2
2282,6 CC de la bouteille I contenant 163 millig. 2 de CO^2
40164,7 CC d'air expiré dans la cloche contiendront

p. consq.	2 gr. 87167
dont il faut soustraire . . .	0 gr. 09981
Reste . . .	2 gr. 77186 CO^2 7 min.
	0 gr. 39598 CO^2 1 min.
	0 gr. 03599 CO^2 dans une seule expiration.

Dans toutes ces expériences, j'ai pris pour l'air des bouteilles la même température que celle de l'air de la chambre, ce qui devait être juste, puisque les bouteilles étaient toujours soigneusement séchées avant d'être employées; le courant d'air produit par les poires de caoutchouc ne pouvait donc pas amener de refroidissement par évaporation.

J'en ai fait de même pour la température de l'air expiré, quoiqu'elle fût constamment de 2 à 3 dixièmes de degrés inférieure à celle de la chambre; mais puisque cet écart a été le même dans les deux localités, il ne peut pas présenter d'inconvénients; l'essentiel est que les observations soient comparatives.

J'ajouterai une dernière remarque concernant l'appareil: j'ai dû renoncer dès le commencement à employer de l'eau saturée de Na Cl, car au bout de peu de jours, il se formait

des cristaux entravant considérablement les mouvements de la cloche. La concentration 20 pour 100 employée, ne pouvait guère dissoudre des quantités appréciables de CO^2, lesquelles auraient été du reste les mêmes dans les deux stations.

Les tableaux VII et VIII donnent les chiffres de 35 expériences faites à 142^m et de 32 à 1100^m [1]. Enumérons-en les résultats :

1° La température de l'air extérieur se trouve à peu de chose près la même dans les deux stations, ce qui est une condition indispensable pour la comparaison des résultats suivants.

2° La moyenne barométrique de Ste-Croix est de 78^{mm} inférieure à celle de Strasbourg.

3° La comparaison des moyennes du pouls (colonne 6) confirme entièrement ce que nous avons appris précédemment (page 12), c'est-à-dire que le séjour régulier et prolongé à des altitudes de plus en plus élevées, augmente la fréquence des battements cardiaques. De plus nous voyons (colonnes 4 et 5) que cette fréquence est sensiblement la même avant et après l'expérience.

4° Quant à la fréquence respiratoire (colonnes 7 et 8) à Strasbourg, elle est de 11,20 par minute en dehors de l'appareil

Et de 11,15 dans l'appareil.

A Ste-Croix elle est de 11,14 par minute en dehors de l'appareil

Et de 11,24 dans l'appareil.

Par conséquent, accélération nulle d'un niveau à l'autre ; puis, nombre presque égal de mouvements respiratoires avant et pendant chaque expérience, ce qui montre combien le rhythme respiratoire naturel était peu troublé par le gazomètre.

5° Si nous comparons maintenant le volume d'air expiré

[1] On voudra bien excuser le nombre un peu grand de décimales reproduites dans ces tableaux ; car elles ne présentent rien d'illusoire, puisqu'elles résultent tout simplement de calculs et non point de quelque approximation hasardée.

dans les deux séries d'expériences (colonne 10), nous trouvons un résultat tout naturel, et entièrement conforme à l'opinion admise jusqu'ici, que les inspirations deviennent plus amples à mesure qu'on s'élève, pour compenser la raréfaction de l'air.

A 142 mètres.

40955,7 CC d'air vicié sont exhalés en 7 min.; 5850 CC en une minute ; 524 CC en une seule expiration.

A 1100 mètres.

43893,75 CC d'air vicié sont exhalés en 7 min.; 6270 CC en une minute, et 557 CC en une seule expiration.

Ainsi le volume d'une seule expiration est de 33 centimètres cubes plus considérable à 1100^{m} qu'à 142^{m}.

Aussi ne serons-nous pas peu surpris de voir ce rapport tout-à-fait renversé si nous réduisons les volumes à 0° et à 760^{mm}.

Dans ce cas, nous voyons (colonne 11) :

A 142 mètres.

38362,8 CC d'air vicié sont exhalés en 7 min.; 5480 CC en une minute et 491 CC en une seule expiration.

A 1100 mètres.

36917 CC d'air vicié sont exhalés en 7 min.; 5273 CC en une min. et 469 CC en une seule expiration.

C'est-à-dire qu'en réalité, les volumes étant réduits à l'unité commune de 0° et 760^{mm}, *loin de trouver une augmentation dans le poids* [1] *de l'air respiré à mesure que l'on habite plus haut, il y a bien plutôt diminution*, puisque le volume d'une seule expiration est de 22 CC moins considérable à 1100^{m} qu'à 142^{m}.

6° Voyons enfin quelle est la proportion de CO^2 trouvée dans ces volumes (colonne 14) :

A 1100 mètres.

2 gr. 81624 CO^2 sont exhalés en 7 min.; 0 gr. 40231 en une minute, et 0 gr. 03576 en une seule expiration.

A 142 mètres.

2 gr. 62517 CO^2 sont exhalés en 7 min.; 0,37503 en une minute, et 0 gr. 03362 en une seule expiration.

C'est-à-dire qu'à 1100^m, une seule expiration donne 0 gr. 00214 d'CO^2 de plus qu'à 142^m. La différence est donnée de la façon la plus générale en calculant pour 100 volumes d'air expiré, la proportion de CO^2 : elle se trouve être de 6,09 à 1100^m, et seulement de 5,50 à 142^m (colonne 17).

Or comme nous avons trouvé que la différence de niveau ne produit aucune variation dans la fréquence respiratoire, nous sommes donc forcés de conclure que *la quantité absolue et relative de CO^2 exhalé par les poumons augmente par le transport de l'habitat à des niveaux plus élevés, et cela avec une fréquence respiratoire toujours la même, et avec une diminution dans le poids de l'air respiré.*

J'étais loin, au commencement, de m'attendre à un tel résultat, auquel il m'est impossible de douter maintenant. Je crois m'être assez expliqué sur toutes les conditions d'observations et sur la méthode expérimentale employée, et crois avoir assez fourni aux exigences pour être en droit de considérer ce résultat comme très-rapproché d'un fait réel, quelle que soit l'interprétation qu'on veuille en donner. Il suffit de jeter un coup d'œil sur l'ensemble des tableaux VII et VIII pour remarquer dans les chiffres d'une même colonne des résultats sensiblement les mêmes : les différences qui les séparent les uns des autres sont en tous cas moins considérables que les écarts qu'ils présentent avec les chiffres dans la colonne correspondante de l'autre tableau. Ce point très-important me semble surtout propre à donner confiance dans les lois obtenues, confiance qui serait bien diminuée si chaque moyenne ne reposait que sur des chiffres extrêmes, ne présentant entr'eux aucune uniformité.

[1] Il va sans dire que pour formuler exactement cette loi, nous ne pouvons plus employer le mot d'*amplitude*, laquelle est réellement augmentée à mesure que la pression de l'air diminue.

RÉSUMÉ

1° *Le séjour régulier et prolongé à des niveaux de plus en plus élevés est accompagné d'une accélération du pouls.*

2° *Le séjour régulier et prolongé à 1100^{m} au-dessus du niveau de la mer, n'est accompagné d'aucune accélération des mouvements respiratoires.*

De ces deux lois résulte la suivante :

3° *La fraction moyenne* ($^{1}/_{4}$) *représentant les rapports entre la fréquence respiratoire et les battements du cœur, devient toujours plus petite à mesure qu'on habite des stations plus élevées au-dessus du niveau de la mer.*

4° *La température humaine ne paraît pas sensiblement diminuée par le transport de l'habitat de 142 à 1100^{m}.*

5° *Loin de trouver une augmentation dans le poids de l'air respiré à mesure que l'on habite plus haut, il y a plutôt diminution.*

6° *La quantité absolue et relative d'acide carbonique exhalé par les poumons augmente par le transport de l'habitat à des niveaux plus élevés, et cela avec une fréquence respiratoire toujours la même, et avec une diminution du poids de l'air respiré.*

Le problème si intéressant des conditions vitales créées par le séjour sur les niveaux élevés, est le sujet d'une étude tout à fait moderne et à laquelle se rattachent les noms de deux auteurs, MM. Jourdanet et P. Bert, qu'il importe particulièrement de citer, puisqu'ils ont transporté cette étude dans une phase entièrement nouvelle, l'un par une longue série d'observations faites sur les habitants des hauts plateaux de l'Amérique, l'autre par des expériences de laboratoire qui occupent actuellement l'attention du monde savant. Avant eux, on s'était borné seulement à mettre en évidence l'ensemble de symptômes remarquables que tous les touristes éprouvent en gravissant de hautes montagnes, et rien d'analogue n'avait été soupçonné chez les habitants des lieux élevés : on était persuadé, — et on l'est encore très-généralement — que l'homme n'est pas moins apte à habiter très-haut que très au Nord dans les régions polaires; qu'il s'habitue et s'accommode exactement aux conditions créées par un air raréfié, et que les phénomènes particuliers qu'il accuse sur les hauts plateaux sont dus simplement à l'abaissement de température, aussi bien que lorsqu'il s'éloigne de l'équateur.

Quant au *mal de montagne, mal des aéronautes*, il fut l'objet d'un grand nombre de théories plus ou moins inadmissibles, oubliant une cause fondamentale qui nous semble aujourd'hui facile à prévoir. Pravaz l'avait entrevue, et Jourdanet l'avait parfaitement appréciée, mais il était réservé à P. Bert de la démontrer. Suivant ce physiologiste, les animaux soumis expérimentalement à l'influence d'un air raréfié, éprouvent exactement les mêmes symptômes que les touristes ou les aéronautes qui dépassent une certaine limite. La diminution de pression barométrique ne peut être considérée comme la cause directe de ces symptômes, mais elle n'agit que par la diminution proportionnelle de l'oxygène dans l'unité de volume d'air inspiré. Insuffisance d'air vital, telle est la cause essentielle du mal de montagne, et de laquelle découlent tous les symptômes décrits par ceux qui en ont été atteints. Bert a

prouvé suffisamment que la pression barométrique elle-même n'y est pour rien, puisqu'un animal peut parfaitement vivre dans un air raréfié et même très-raréfié, pourvu qu'il soit artificiel, qu'on y ait ajouté suffisamment d'oxygène pour que la part de tension qui revient à ce gaz soit toujours égale à $0{,}76 \frac{20{,}8}{100} = 0{,}16$ comme dans l'air normal. Toutes les fois que cette proportion baisse, la tension de l'O. baisse en même temps, et les phénomènes d'asphyxie commencent. En employant une atmosphère d'O. presque pur, P. Bert a pu faire descendre la pression jusqu'à 7 centimètres, sans que l'animal en expérience parût être incommodé.

... « Les troubles, les accidents, la mort qui surviennent par l'effet de la diminution de pression, sont dus tout simplement à l'asphyxie; c'est qu'un animal soumis à une diminution croissante de pression est semblable à un animal qui s'asphyxie en vase clos, dans l'air ordinaire, sous la réserve peu importante, comme nous le verrons plus tard, de l'action de l'acide carbonique produit. Le voyageur qui, s'élevant sur le flanc d'une montagne, sent un malaise croissant l'arrêter presque complétement quand la pression n'est plus que d'une demi-atmosphère, est comparable, malgré la pureté proverbiale de l'air qu'il respire, à ces mineurs de Bretagne qui deviennent incapables de tout travail dans les mines de pyrite, dont l'air, suivant F. Leblanc, ne contient plus que 10 à 12 pour 100, que demi-proportion d'O. La tension de l'O est tout; la pression barométrique en elle-même ne fait rien, ou presque rien [1]. »

Il nous importe ici de faire remarquer que longtemps auparavant, Hoppe-Seyler avait publié des résultats identiques à ceux obtenus 16 ans plus tard par Bert et qui paraissent avoir été ignorés par ce dernier. En 1857, Hoppe-Seyler [2] en soumettant des animaux à des diminutions brusques de pres-

[1] P. Bert. Influence des mod. de la pression barom. (page 33).

[2] Archiv. f. Anatom. u. Physiolog., F. Hoppe, 1857. « Ueber den Einfluss, welchen der Wechsel des Luftdruckes auf das Blut ausübt. »

sion atmosphérique, dans des conditions analogues à celles qui furent employées plus tard par le physiologiste français, constata le premier que la mort provoquée par une diminution très-brusque de pression, dépend principalement de l'accumulation de bulles gazeuses dans l'arbre circulatoire. Le premier aussi, il constata le rôle important que la diminution de l'O. de l'air ambiant exerce sur le voyageur qui s'élève, et vit dans cette diminution la cause essentielle du mal de montagne. Je ne puis mieux faire que de rapporter quelques lignes de l'auteur lui-même : . . . « Lorsque la pression de l'air » s'abaisse, la diminution de la puissance d'absorption de l'O. » par le sang ne peut pas être sans influence sur l'état de » l'homme qui gravit de hautes montagnes. Le travail de l'as- » cension, déjà pénible en lui-même, est encore augmenté par » l'accollement plus faible des articulations et exige une dé- » pense plus considérable de force musculaire; celle-ci dé- » pend de l'apport de l'O., puisque sans lui aucun échange » matériel, par conséquent aucun dégagement de force ne » peut avoir lieu. Or si le sang a pour l'O. un pouvoir d'ab- » sorption moins grand, lors même que la circulation est » activée, il apportera aux muscles, dans l'unité de temps, » une quantité d'O. moins grande que sous la pression atmos- » phérique normale; il y a donc diminution de recette, et » fatigue rapide, qui disparaît après un court repos, mais qui » reparaît d'autant plus vite. »

Mais ce qui donne aux expériences de P. Bert une importance toute spéciale, ce sont les analyses des gaz du sang qu'il fit sur les animaux soumis aux variations de pression. Ces recherches ont été faites sur des chiens auxquels on retirait une certaine quantité de sang artériel, immédiatement avant l'expérience : une seconde saignée était pratiquée ensuite sur le même animal, soumis à une pression déterminée; il ne restait plus enfin qu'à comparer les résultats de la seconde analyse avec ceux de la première. Bert a constaté de la sorte que l'O. et l'CO^2 du sang artériel subissent dans leur quantité des diminutions presque régulièrement proportion-

nelles aux diminutions de pression du milieu respirable. L'O. se rapproche même plus de la proportionnalité rigoureuse que l'acide carbonique ; à des pressions de 30 ou 40 centimètres, le sang artériel est aussi dépourvu de ce gaz que le sang veineux ordinaire. L'auteur attire spécialement l'attention sur les diminutions de l'O. du sang correspondant aux pressions de 56 centim., hauteur barométrique des plateaux les plus habités de l'Amérique ; de 36 centim., qui est celle des plus grandes hauteurs atteintes par les touristes ; et enfin celle de 26 centim. où Glaisher et Cowell perdirent connaissance dans leur ascension de 1862. Les proportions d'O, disparues sous ces 3 degrés de dépression, sont 13,6 ; 43,0 et 50,7 pour 100. Quant à la diminution de l'acide carbonique, elle a lieu dans le même sens que celle de l'O., mais en proportion moindre, surtout pour les pressions les plus fabiles.

Enfin la diminution des deux gaz ne se fait pas suivant la loi de Dalton, surtout l'acide carbonique qui s'en écarte le plus ; mais, comme Bert le fait remarquer, cet écart n'est énorme ni pour l'un ni pour l'autre gaz.

Ces résultats qui ne sont pas de ceux que l'on peut mettre en doute, ne s'accordent point avec ce que l'on connaît sur l'absorption de l'O. par le sang. Ferney avait démontré qu'une petite partie seulement de l'O. est simplement dissous dans le sérum, et varie avec la pression, tandis que la plus grande partie de ce gaz est unie chimiquement aux globules rouges. Mais c'est bien plutôt aux beaux travaux de Hoppe-Seyler que nous devons la connaissance exacte de la matière colorante du sang qu'il appela *hémoglobine* et de sa combinaison chimique avec l'O., à laquelle il donna le nom d'*oxyhémoglobine ;* cette combinaison, parfaitement déterminée et assez fixe, contient la presque totalité de l'oxygène du sang qui ne se dégage que sous une basse pression et une température voisine de 100° [1].

[1] *Hoppe-Seyler.* Beitræge zur Kenntniss des Blutes des Menschens, und der Wirbelthiere, in Medecinisch-chemische Untersuchungen. Berlin, 1866. — *Hoppe-Seyler.* Handbuch der Physiolog. und pathol. chemisch - Analyse. Vierte Auflage. Berlin, 1875.

Bert explique la contradiction qui existe entre ces faits et les résultats de ses analyses, en ce que dans les expériences *in vitro*, les conditions sont toutes différentes, et que l'O. ne commence à sortir du sang qu'à de très-basses pressions. « Ainsi, tandis que dans le sang en circulation, la différence commence à se faire nettement sentir dès la pression de 56 centimètres, on ne voit, dans la pompe à mercure, sortir l'O. du sang qu'aux environs de 15 à 20 centim. C'est qu'en même temps que la question de capacité par l'O. se placent dans l'organisme vivant les questions de consommation d'O., de mouvements respiratoires et circulatoires » (Bert, p. 53).

On comprend que Jourdanet ait accueilli avec empressement les résultats de ces travaux, auxquels il avait du reste contribué en une certaine mesure. Ce qu'il avait énoncé dans deux écrits antérieurs, publiés de 1861-1864[2], il le développa très au long, dans un dernier ouvrage, d'une lecture des plus intéressantes : « *Influence de la pression de l'air sur la vie de l'homme.* » En s'appuyant sur ses appréciations personnelles, sur sa longue expérience résultant d'une vingtaine d'années consacrées à la pratique médicale sur les plateaux mexicains, et surtout sur les résultats fournis par les modifications brusques de pression employées par Bert, il tend à prouver chez l'habitant des altitudes cet état particulier auquel il donne le nom très-heureux *d'anoxyhémie.* M. Jourdanet accepte volontiers la tâche nouvelle de démontrer que ce qui est devenu un fait incontestable de laboratoire, a son influence très-marquée et non moins incontestable dans les phénomènes de la vie humaine. » Pour ce qui concerne les changements brusques de pression, tels que ceux subis par le touriste et l'aéronaute, nous pensons que les résultats de Bert sont parfaitement applicables et que nul ne songera à les contester. En effet, que l'on enferme un individu dans un grand récipient dont on retire peu à peu l'air, au moyen d'une pompe, ou que le même individu s'élève dans l'atmosphère, il est évident que les

[2] « Les altitudes de l'Amérique tropicale, » Paris 1861, et — « le Mexique et l'Amérique tropicale, » 1864.

conditions sont identiques. M. Bert lui-même en se plaçant sous la cloche de la pompe pneumatique, et sous une dépression correspondant à la hauteur du sommet du Mont-Blanc, a éprouvé tous les symptômes caractéristiques du mal des montagnes.

Mais peut-on appliquer sans réserve les mêmes résultats à l'homme qui passe toute sa vie sous une dépression atmosphérique constante ? Il est permis d'en douter, et nous inclinerions plutôt à admettre que l'homme est capable de vivre dans toutes les altitudes habitées, et sans qu'il y subisse quelque influence pernicieuse. Il va sans dire qu'au-dessus d'une limite extrême, toute vie, aussi bien végétale qu'animale, est rendue impossible, non-seulement par la trop grande rareté de l'air, mais par une série d'autres influences tout aussi importantes.

La théorie de M. Jourdanet ne peut être établie sûrement que par des expériences comparatives analogues à celles que j'ai présentées dans ce mémoire. Dans les plateaux élevés du Mexique, si le sang de l'homme a perdu 13 pour 100 de son volume d'oxygène, il faut nécessairement que les combustions organiques soient moins actives, que la température du corps soit abaissée, et que l'exhalation d'acide carbonique soit moins considérable qu'au niveau de la mer. S'il en est ainsi, si petites que soient les différences obtenues, la théorie est justifiée. Or, de telles recherches ont totalement manqué jusqu'à présent, et ceux qui ont lu Jourdanet conviendront qu'à part les travaux de Bert sur lesquels il s'appuie essentiellement, les développements fournis par l'auteur reposent beaucoup plus sur des appréciations personnelles que sur des preuves positives. Quoique les résultats obtenus par Coindet paraissent être contraires aux idées de Jourdanet, je ne les invoque point ici, vu que les procédés d'expérimentation me paraissent avoir été défectueux. Ce qui me suggère plutôt des doutes sur la théorie de Jourdanet, ce sont les résultats que m'ont donnés mes propres recherches. Le niveau supérieur que j'ai atteint est de 1100^m, correspondant à 669^{mm} de pres-

sion, et à une tension d'oxygène égale à 18,4, tandis qu'elle est de 20,9 au niveau de la mer. Cette limite que je n'ai pu dépasser pour le moment, quoique peu élevée, n'en est pas moins importante, puisqu'elle correspond justement au degré de dépression que Bert a négligé dans ses expériences, parce que les différences qu'il a constatées étaient de l'ordre des erreurs d'analyse. Or, comme il est très-probable que les phénomènes marchent dans le même sens que celui qui est indiqué pour des dépressions considérables, les résultats trouvés à 1100ᵐ me paraissent acquérir une importance également considérable pour des altitudes plus grandes. A cette hauteur, où donc la tension de l'O. est de 18,4, l'observation directe a montré: *a)* une température humaine très-sensiblement la même qu'au niveau de la mer, quoique l'air extérieur soit plus froid; *b)* une accélération régulière de la circulation; *c)* enfin *une augmentation de l'acide carbonique exhalé, lors même que la mécanique respiratoire est moins active.* Ce résultat est de nature à surprendre singulièrement; pour le moment, il me semble trop incompréhensible pour vouloir chercher à l'expliquer, et je préfère le laisser tel quel plutôt que d'en donner quelque explication nécessairement insuffisante; de nouvelles recherches faites à ce sujet ne présenteraient pas un mince intérêt.

Quant à l'augmentation de l'acide carbonique qui, nous l'avons vu, est de 0,59 pour 100 (tableaux VII et VIII), elle est une conséquence logique du maintien de la température du corps à un degré constant. Cette augmentation qui s'est montrée toujours irrégulière dans les expériences faites à Sainte-Croix, dénote certainement autre chose que la simple diminution de ce gaz dans le sang soumis à la dépression, comme Bert l'a démontré. Il s'agit bien réellement d'une suractivité de la combustion intraorganique rendue seulement possible par une plus grande quantité d'O. absorbée. En d'autres termes il y a compensation parfaite au milieu de cet air déjà notablement raréfié, mais il y a encore bien plus, puisque cette compensation a lieu sans une exagération dans le jeu mécanique de la respiration. Les adversaires de la compensation intégrale

opposent surtout à celle-ci l'impossibilité où sont les habitants des régions élevées de compenser par une augmentation de la mécanique respiratoire l'influence de la moindre quantité d'oxygène de l'air; ils s'épuiseraient à cette gymnastique; aussi en sont-ils réduits à respirer toujours d'une manière insuffisante. En donnant une plus grande extension aux expériences de Fernet, MM. Bert et Gréhant ont montré que, *in vitro*, même à des pressions d'une demi et d'un tiers d'atmosphère, les quantités d'oxygène contenues dans le sang sont très-voisines de celle qu'il absorbe à la pression normale. Les chiffres obtenus en agitant du sang dans de l'air raréfié, montrent qu'au-dessous d'une atmosphère, la diminution d'oxygène ne paraît porter que sur le gaz dissous, tandis que les hématies ne perdent qu'une faible quantité de ce gaz, même à des pressions voisines de 10 centimètres. Le sang paraît donc capable d'absorber chimiquement à toutes les pressions autant d'oxygène qu'au niveau de la mer, mais il en contient en réalité beaucoup moins, pense M. Bert, parce que l'agitation de ce liquide avec l'air dans les poumons ne se fait plus dans des conditions suffisantes. Comme le sang artériel, même à la pression normale, n'est point saturé d'oxygène, mais qu'il n'y arrive qu'à la suite d'efforts respiratoires exagérés, il faudrait, à $^1/_2$ atmosphère, pour obtenir le même résultat qu'au niveau normal, que l'activité pulmonaire fût doublée, ce qui serait assurément impossible. M. Bert ajoute :

... « Cependant il se fait un mouvement dans ce sens, comme en témoignent les récits de tous les voyageurs, comme je l'ai observé sur les animaux et éprouvé moi-même dans mes appareils; aux faibles dépressions, la respiration s'accélère, les battements du cœur sont plus forts et plus nombreux, et l'équilibre peut être à peu près rétabli. Mais tout d'abord, ceci ne peut être que momentané, et semblable gymnastique ne saurait continuer longtemps sans des menaces d'emphysème et de maladies cardiaques; aussi cette exagération ne dure-t-elle pas et les étrangers eux-mêmes, transportés sur de petites montagnes (1000-2000^m), n'y voient-ils nullement se maintenir

chez eux cette accélération redoutable : l'oxygène diminue fatalement dans leur sang [1]. »

C'est ici surtout que viennent s'opposer formellement les faits que j'ai directement observés à 1100^{m}, non pendant un voyage, mais au milieu d'un genre de vie habituel et semblable à celui que j'ai suivi dans les niveaux inférieurs. Il suffit d'avoir trouvé qu'à 1100^{m} d'élévation, l'homme maintient amplement le plein exercice de sa vie et sans qu'il ait besoin de se livrer à cette prétendue gymnastique respiratoire exagérée, pour être en droit de supposer qu'il en est encore de même à des altitudes plus grandes.

A moins de preuves contraires, j'inclinerai plutôt à admettre que *l'homme peut vivre sans inconvénients à toutes les altitudes habitées, et aussi bien qu'au niveau de la mer.*

[1] P. Bert, loco cit. page 156.

F.-A. Forel. Expér. sur la tempér. du corps humain dans l'acte de l'ascension sur les montagnes. 1871-1874, in Bulletin de la Société médicale de la Suisse romande.

Paul Bert. Recherches expérimentales sur l'influence que les modifications dans la pression barométrique exercent sur les phénomènes de la vie. — Paris, 1874.

Jourdanet. Influence de la pression de l'air sur la vie de l'homme. — Paris, 1875.

Carl Speck. Untersuchungen über Sauerstoffverbrauch und Kohlensäureausscheidung des Menschen. (Schriften der Gesellschaft zur Beförderung der gesammten Naturwissenschaften zu Marburg. X. 1871.

Eug. Berg. Ueber den Einfluss der Zahl und Tiefe der Athembeweg. auf die Ausscheid. der Kohlensäure durch die Lungen. — Dorpat. 1869.

Felix Hoppe. Ueber den Einfluss welchen der Wechsel des Luftdruckes auf das Blut ausübt. Im Archiv für anat. Physiol. und wissenschaft. Medizin, von Dr J. Müller, 1857.

Felix Hoppe. Beiträge zur Kenntniss des Blutes des Menschen und der Wirbelthiere, in medic.-chem. Untersuchungen. Berlin, 1866.

Hoppe-Seyler. Handbuch der Physiol. u. Patholog. Chem. Analyse. Vierte Auflage. Berlin, 1875.

Milne Edwards. Leçons sur la Physiologie et l'Anatomie comparées.